

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices –
Part 1: Devices used next to the ear (Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)**

**Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquences produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps –
Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille (Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices –
Part 1: Devices used next to the ear (Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)**

**Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquences produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps –
Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille (Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.060.20

ISBN 978-2-8322-3500-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	11
INTRODUCTION.....	13
1 Scope.....	14
2 Normative references	14
3 Terms and definitions	14
4 Symbols and abbreviations	19
4.1 Physical quantities	19
4.2 Constants	20
4.3 Abbreviations	20
5 Measurement system specifications	20
5.1 General requirements.....	20
5.2 Phantom specifications (shell and liquid)	22
5.3 Hand and device holder considerations.....	23
5.4 Scanning system requirements	23
5.5 Device holder specifications	23
5.6 Characteristics of the readout electronics	24
6 Protocol for SAR assessment.....	24
6.1 General.....	24
6.2 Measurement preparation.....	24
6.2.1 Preparation of tissue-equivalent liquid and <i>system check</i>	24
6.2.2 Preparation of the wireless device under test (DUT).....	25
6.2.3 Operating modes	26
6.2.4 Positioning of the DUT in relation to the phantom	27
6.2.5 Test frequencies for DUT	34
6.3 Tests to be performed	34
6.4 Measurement procedure.....	36
6.4.1 General	36
6.4.2 General procedure	37
6.4.3 SAR measurements of handsets with multiple antennas or multiple transmitters.....	39
6.5 Post-processing of SAR measurement data	45
6.5.1 Interpolation.....	45
6.5.2 Extrapolation	46
6.5.3 Definition of the averaging volume.....	46
6.5.4 Searching for the maxima.....	46
6.6 Fast SAR testing	46
6.6.1 General	46
6.6.2 Fast SAR measurement procedure A.....	47
6.6.3 Fast SAR testing of required frequency bands	49
6.6.4 Fast SAR measurement procedure B	50
6.7 SAR test reduction	52
6.7.1 General requirements.....	52
6.7.2 Test reduction for different operating modes in the same frequency band using the same wireless technology	53
6.7.3 Test reduction based on characteristics of DUT design	54
6.7.4 Test reduction based on SAR level analysis.....	55

6.7.5	Test reduction based on simultaneous multi-band transmission considerations	57
7	Uncertainty estimation	58
7.1	General considerations	58
7.1.1	Concept of uncertainty estimation	58
7.1.2	Type A and Type B evaluation	59
7.1.3	Degrees of freedom and coverage factor	59
7.2	Components contributing to uncertainty	60
7.2.1	General	60
7.2.2	Calibration of the SAR probes	60
7.2.3	Contribution of mechanical constraints	65
7.2.4	Phantom shell	66
7.2.5	Device positioning and holder uncertainties	67
7.2.6	Tissue-equivalent liquid parameter uncertainty	69
7.2.7	Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	72
7.2.8	Measured SAR drift	74
7.2.9	RF ambient conditions	75
7.2.10	Contribution of post-processing	76
7.2.11	SAR scaling uncertainty	81
7.2.12	Deviation of experimental sources	82
7.2.13	Other uncertainty contributions when using <i>system validation</i> sources	82
7.3	Calculation of the uncertainty budget	83
7.3.1	Combined and expanded uncertainties	83
7.3.2	Maximum expanded uncertainty	83
7.4	Uncertainty of fast SAR methods based on specific measurement procedures and post-processing techniques	92
7.4.1	General	92
7.4.2	Measurement uncertainty evaluation	92
8	Measurement report	101
8.1	General	101
8.2	Items to be recorded in the measurement report	101
Annex A (normative)	Phantom specifications	104
A.1	Rationale for the SAM phantom shape	104
A.2	SAM phantom specifications	104
A.2.1	General	104
A.2.2	Phantom shell	108
A.3	Flat phantom specifications	110
A.4	Tissue-equivalent liquids	111
Annex B (normative)	Calibration and characterization of dosimetric probes	113
B.1	Introductory remarks	113
B.2	Linearity	114
B.3	Assessment of the sensitivity of the dipole sensors	114
B.3.1	General	114
B.3.2	Two-step calibration procedures	114
B.3.3	One step calibration procedures	120
B.3.4	Coaxial calorimeter method	124
B.4	Isotropy	126
B.4.1	Axial isotropy	126

B.4.2	Hemispherical isotropy	126
B.5	Lower detection limit	131
B.6	Boundary effects	131
B.7	Response time	131
Annex C	(normative) Post-processing techniques	132
C.1	Extrapolation and interpolation schemes	132
C.1.1	Introductory remarks	132
C.1.2	Interpolation schemes	132
C.1.3	Extrapolation schemes	132
C.2	Averaging scheme and maximum finding	132
C.2.1	Volume average schemes	132
C.2.2	Extrude method of averaging	132
C.2.3	Maximum peak SAR finding and uncertainty estimation	133
C.3	Example implementation of parameters for scanning and data evaluation	133
C.3.1	General	133
C.3.2	Area scan measurement requirements	133
C.3.3	Zoom scan	133
C.3.4	Extrapolation	134
C.3.5	Interpolation	134
C.3.6	Integration	134
Annex D	(normative) SAR measurement system verification	135
D.1	Overview	135
D.2	<i>System check</i>	135
D.2.1	Purpose	135
D.2.2	Phantom set-up	136
D.2.3	<i>System check</i> source	136
D.2.4	<i>System check</i> source input power measurement	137
D.2.5	<i>System check</i> procedure	138
D.3	<i>System validation</i>	139
D.3.1	Purpose	139
D.3.2	Phantom set-up	139
D.3.3	<i>System validation</i> sources	139
D.3.4	Reference dipole input power measurement	140
D.3.5	<i>System validation</i> procedure	140
D.3.6	Numerical target SAR values	141
D.4	Fast SAR method <i>system validation</i> and <i>system check</i>	144
D.4.1	General	144
D.4.2	Fast SAR method <i>system validation</i>	144
D.4.3	Fast SAR method <i>system check</i>	145
Annex E	(normative) Interlaboratory comparisons	146
E.1	Purpose	146
E.2	Phantom set-up	146
E.3	Reference wireless handsets	146
E.4	Power set-up	146
E.5	Interlaboratory comparison – Procedure	147
Annex F	(informative) Definition of a phantom coordinate system and a device under test coordinate system	148
Annex G	(informative) SAR <i>system validation</i> sources	150

G.1	Standard dipole source	150
G.2	Standard waveguide source	151
Annex H (informative)	Flat phantom	153
Annex I (informative)	Example recipes for phantom head tissue-equivalent liquids	156
I.1	Overview	156
I.2	Ingredients	156
I.3	Tissue-equivalent liquid formulas (permittivity/conductivity)	157
Annex J (informative)	Measurement of the dielectric properties of liquids and uncertainty estimation	160
J.1	Introductory remarks	160
J.2	Measurement techniques	160
J.2.1	General	160
J.2.2	Instrumentation	160
J.2.3	General principles	160
J.3	Slotted coaxial transmission line	161
J.3.1	General	161
J.3.2	Equipment set-up	161
J.3.3	Measurement procedure	161
J.4	Contact coaxial probe	162
J.4.1	General	162
J.4.2	Equipment set-up	162
J.4.3	Measurement procedure	164
J.5	TEM transmission line	164
J.5.1	General	164
J.5.2	Equipment set-up	164
J.5.3	Measurement procedure	165
J.6	Dielectric properties of reference liquids	166
Annex K (informative)	Measurement uncertainty of specific fast SAR methods and fast SAR examples	169
K.1	General	169
K.2	Measurement uncertainty evaluation	169
K.2.1	General	169
K.2.2	Probe calibration and system calibration drift	170
K.2.3	Isotropy	170
K.2.4	Sensor positioning uncertainty	171
K.2.5	Sensor location sensitivity	171
K.2.6	Mutual sensor coupling	172
K.2.7	Sensor coupling with the DUT	172
K.2.8	Measurement system immunity / secondary reception	172
K.2.9	Deviations in phantom shape	172
K.2.10	Spatial variation in dielectric parameters	173
K.3	Fast SAR examples	178
K.3.1	General	178
K.3.2	Example 1: Tests for one frequency band and mode	179
K.3.3	Example 2: Tests over multiple frequency bands and modes	183
K.3.4	Example 3: Tests for one frequency band and mode (Procedure B)	186
K.3.5	Example 4: Tests over multiple frequency bands and modes (Procedure B)	190
Annex L (informative)	SAR test reduction supporting information	194

L.1	General.....	194
L.2	Test reduction based on characteristics of DUT design	194
L.2.1	General	194
L.2.2	Statistical analysis overview.....	194
L.2.3	Analysis results.....	195
L.2.4	Conclusions	198
L.2.5	Expansion to multi transmission antennas	198
L.2.6	Test reduction based on analysis of SAR results on other signal modulations	198
L.3	Test reduction based on SAR level analysis.....	200
L.3.1	General	200
L.3.2	Statistical analysis	201
L.3.3	Test reduction applicability example	204
L.4	Other statistical approaches to search for the high SAR test conditions.....	205
L.4.1	General	205
L.4.2	Test reductions based on a design of experiments (DOE).....	205
L.4.3	Analysis of unstructured data	206
Annex M (informative)	Applying the head SAR test procedures	207
Annex N (informative)	Studies for potential hand effects on head SAR.....	210
N.1	Overview	210
N.2	Background.....	210
N.2.1	General	210
N.2.2	Hand phantoms.....	211
N.3	Summary of experimental studies.....	211
N.3.1	General	211
N.3.2	Experimental studies using fully compliant SAR measurement systems	211
N.3.3	Experimental studies using other SAR measurement systems	211
N.4	Summary of computational studies	212
N.5	Conclusions	212
Annex O (informative)	Quick start guide	213
O.1	General.....	213
O.2	Quick start guide high level flow-chart	213
Bibliography		217

Figure 1 – Vertical and horizontal reference lines and reference Points A, B on two example device types: a full touch screen smart phone (top) and a keyboard handset (bottom)	29

Figure 2 – Cheek position of the wireless device on the left side of SAM where the device shall be maintained for the phantom test set-up.....	32

Figure 3 – Tilt position of the wireless device on the left side of SAM	32

Figure 4 – An alternative form factor DUT and standard coordinate and reference points applied	33

Figure 5 – Block diagram of the tests to be performed	36

Figure 6 – Orientation of the probe with respect to the line normal to the phantom surface, shown at two different locations	39

Figure 7 – Measurement procedure for different types of correlated signals	45

Figure 8 – The Fast SAR measurement procedure B.	52

Figure 9 – Modified chart of 6.4.2.....	57

Figure 10 – Orientation and surface of the averaging volume relative to the phantom surface	81
Figure A.1 – Illustration of dimensions in Table A.1 and Table A.2	105
Figure A.2 – Close-up side view of phantom showing the ear region	107
Figure A.3 – Side view of the phantom showing relevant markings	107
Figure A.4 – Sagittally bisected phantom with extended perimeter (shown placed on its side as used for device SAR tests)	109
Figure A.5 – Picture of the phantom showing the central strip	109
Figure A.6 – Cross-sectional view of SAM at the reference plane	110
Figure A.7 – Dimensions of the elliptical phantom	111
Figure B.1 – Experimental set-up for assessment of the sensitivity (conversion factor) using a vertically-oriented rectangular waveguide	118
Figure B.2 – Illustration of the antenna gain evaluation set-up	121
Figure B.3 – Schematic of the coaxial calorimeter system	125
Figure B.4 – Set-up to assess spherical isotropy deviation in tissue-equivalent liquid	127
Figure B.5 – Alternative set-up to assess spherical isotropy deviation in tissue-equivalent liquid	128
Figure B.6 – Experimental set-up for the hemispherical isotropy assessment	129
Figure B.7 – Conventions for dipole position (φ) and polarization (θ)	129
Figure B.8 – Measurement of hemispherical isotropy with reference antenna	130
Figure C.1 – Extrude method of averaging	133
Figure C.2 – Extrapolation of SAR data to the inner surface of the phantom based on a fourth-order least-square polynomial fit of the measured data (squares)	134
Figure D.1 – Test set-up for the system check	137
Figure F.1 – Example reference coordinate system for the left ERP of the SAM phantom	148
Figure F.2 – Example coordinate system on the device under test	149
Figure G.1 – Mechanical details of the standard dipole	151
Figure G.2 – Standard waveguide source (dimensions are according to Table G.2)	152
Figure H.1 – Dimensions of the flat phantom set-up used for deriving the minimal phantom dimensions for W and L for a given phantom depth D	154
Figure H.2 – FDTD predicted uncertainty in the 10 g peak spatial-average SAR as a function of the dimensions of the flat phantom compared with an infinite flat phantom, at 800 MHz	154
Figure J.1 – Slotted line set-up	161
Figure J.2 – An open-ended coaxial probe with inner and outer radii a and b , respectively	163
Figure J.3 – TEM line dielectric test set-up [143]	165
Figure K.1 – SAR values for twelve hypothetical test configurations measured in the same frequency band and modulation (e.g. GSM 900 MHz) using a hypothetical full SAR (full SAR) and two fast SAR (fast SAR 1 and fast SAR 2) evaluations	178
Figure L.1 – Distribution of "Tilt/Cheek"	195
Figure L.2 – SAR relative to SAR in position with maximum SAR in GSM mode	200
Figure L.3 – Two points identifying the minimum distance between the position of the interpolated maximum SAR and the points at $0,6 \times SAR_{\max}$	201
Figure L.4 – Histogram for $D_{\min}$ in the case of GSM 900 and iso-level at $0,6 \times SAR_{\max}$	202
Figure L.5 – Histogram for random variable $Factor1g1800$	203

Figure O.1 – Quick guide flow-chart	214
Table 1 – Area scan parameters.....	38
Table 2 – Zoom scan parameters	38
Table 3 – Example method to determine the combined SAR value using Alternative 1	43
Table 4 – Threshold values $TH(f)$ used in this proposed test reduction protocol	56
Table 5 – Example uncertainty template and example numerical values for dielectric constant (ϵ'_r) and conductivity (σ) measurement.....	71
Table 6 –Uncertainty of Formula (41) as a function of the maximum change in permittivity or conductivity.....	73
Table 7 – Parameters for the reference function f_1 in Formula (48)	77
Table 8 – Uncertainties relating to the deviations of the parameters of the standard waveguide source from theory.....	82
Table 9 – Other uncertainty contributions relating to the dipole sources described in Annex G	83
Table 10 – Other uncertainty contributions relating to the standard waveguide sources described in Annex G.....	83
Table 11 – Example of measurement uncertainty evaluation template for handset SAR test..	85
Table 12 – Example of measurement uncertainty evaluation template for <i>system validation</i>	88
Table 13 – Example of measurement repeatability evaluation template for <i>system check</i> (applicable for one system).	90
Table 14 – Measurement uncertainty budget for relative fast SAR tests	97
Table 15 – Measurement uncertainty budget for <i>system check</i> using fast SAR methods	99
Table A.1 – Dimensions used in deriving SAM phantom from the ARMY 90th percentile male head data (Gordon et al. [56]).....	106
Table A.2 – Additional SAM dimensions compared with selected dimensions from the ARMY 90th-percentile male head data (Gordon et al. [56]) – specialist head measurement section.....	106
Table A.3 – Dielectric properties of the head tissue-equivalent liquid	112
Table B.1 – Uncertainty analysis for transfer calibration using temperature probes	116
Table B.2 – Guidelines for designing calibration waveguides	119
Table B.3 – Uncertainty analysis of the probe calibration in waveguide	120
Table B.4 – Uncertainty template for evaluation of reference antenna gain.....	122
Table B.5 – Uncertainty template for calibration using reference antenna.....	123
Table B.6 – Uncertainty components for probe calibration using thermal methods	126
Table D.1 – Numerical target SAR values (W/kg) for standard dipole and flat phantom.....	142
Table D.2 – Numerical target SAR values for waveguides specified in Clause G.2 placed in contact with flat phantom [94].....	143
Table G.1 – Mechanical dimensions of the reference dipoles	150
Table G.2 – Mechanical dimensions of the standard waveguide	152
Table H.1 – Parameters used for calculation of reference SAR values in Table D.1	155
Table I.1 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters: 300 MHz to 900 MHz.....	157
Table I.2 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters: 1 450 MHz to 2 000 MHz.....	158

Table I.3 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters: 2 100 MHz to 5 800 MHz	159
Table J.1 – Parameters for calculating the dielectric properties of various reference liquids	167
Table J.2 – Dielectric properties of reference liquids at 20 °C	167
Table K.1 – Measurement uncertainty budget for relative fast SAR tests complying with Annex K requirements, for tests performed within one frequency band and modulation.....	174
Table K.2 – Measurement uncertainty budget for <i>system check</i> using fast SAR methods complying with Annex K requirements	176
Table K.3 – Measurements conducted according to Step a)	179
Table K.4 – Measurements conducted according to Step b)	180
Table K.5 – Measurements conducted according to Step c)	180
Table K.6 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 2).....	181
Table K.7 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 3).....	182
Table K.8 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 4).....	182
Table K.9 – Fast SAR measurements conducted according to Step a).....	183
Table K.10 – Fast SAR measurements showing highest SAR value according to Step b) ...	184
Table K.11 – Full SAR measurements conducted according to Step b).....	184
Table K.12 – Fast SAR measurements showing values according to requirements in Step c)	185
Table K.13 – Full SAR measurements conducted according to Step c).....	185
Table K.14 – Fast SAR measurements showing values according to requirements in Step e)	186
Table K.15 – Full SAR measurements conducted according to Step e).....	186
Table K.16 – Measurements conducted according to Step a)	187
Table K.17 – Measurements conducted according to Step b)	188
Table K.18 – Measurements conducted according to Step c)	188
Table K.19 – Measurements conducted according to Step e)	189
Table K.20 – Measurements conducted according to Step f)	190
Table K.21 – Fast SAR measurements conducted according to Step a).....	191
Table K.22 – Full SAR measurements conducted according to Step b).....	191
Table K.23 – Full SAR measurements conducted according to Step e).....	192
Table K.24 – Full SAR measurements conducted according to Step e).....	193
Table L.1 – The number of handsets used for the statistical study.....	195
Table L.2 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various x values	196
Table L.3 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for 1 g and 10 g peak spatial-average SAR	196
Table L.4 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various antenna locations.....	197
Table L.5 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various frequency bands.....	197
Table L.6 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various device types.....	198
Table L.7 – Distance $D_{\min}^*$ for various iso-level values	202
Table L.8 – Experimental thresholds to have a 95 % probability that the maximum measured SAR value from the area scan will also have a peak spatial-average SAR	203
Table L.9 – SAR values from the area scan (GSM 900 band).....	204
Table L.10 – SAR values from the area scan (GSM 900 band).....	205

Table M.1 – SAR results tables for example test results – GSM 850.....	207
Table M.2 – SAR results table for example test results – GSM 900	208
Table M.3 – SAR results table for example test results – GSM 1800	208
Table M.4 – SAR results table for example test results – GSM 1900	209
Table O.1 – Quick start guide: SAR evaluation steps	215

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Withd2Wm

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURE FOR THE ASSESSMENT OF SPECIFIC
ABSORPTION RATE OF HUMAN EXPOSURE TO RADIO FREQUENCY
FIELDS FROM HAND-HELD AND BODY-MOUNTED WIRELESS
COMMUNICATION DEVICES –****Part 1: Devices used next to the ear
(Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62209-1 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Extension of the frequency range to 300 MHz to 6 GHz.
- b) Fast SAR methods.

- c) Test reduction techniques.
- d) SAR measurements of terminals with multiple antennas and multiple transmitters.
- e) Deviation of dielectric characteristics of the tissue-equivalent liquids is relaxed up to 10 %.
- f) Uncertainty evaluation guidelines for temperature and dielectric parameter deviations of tissue-equivalent liquids.
- g) Addition of the following annexes:
 - Annex K (informative) Measurement uncertainty of specific fast SAR methods and fast SAR examples
 - Annex L (informative) SAR test reduction supporting information
 - Annex M (informative) Applying the head SAR test procedures
 - Annex N (informative) Studies for potential hand effects on head SAR
 - Annex O (informative) Quick start guide.

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

FDIS	Report on voting
106/361/FDIS	106/365/RVD

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

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

In this standard, the following print types are used:

- specific test protocols: in *italic* type.

A list of all parts in the IEC 62209 series, published under the general title *Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices*, can be found on the IEC website.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

INTRODUCTION

IEC TC 106 has the scope to prepare International Standards on measurement and calculation methods used to assess human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields. IEC TC 106 has developed this part of IEC 62209 to provide procedures to evaluate the specific absorption rate (SAR) of human exposures due to electromagnetic field (EMF) transmitting devices when held close to the ear. The types of devices include but are not limited to mobile telephones, cordless telephones, headphones, etc., which are used close to the ear. The IEC TC 106 standards do not deal with the exposure limits. Conformity assessment depends on the policy of national regulatory bodies. While basic restrictions on SAR in the ICNIRP Guidelines [64]¹ go up to 10 GHz, the frequency range for this part of IEC 62209 is limited to an upper end frequency of 6 GHz since current wireless handsets operate below this frequency.

IEC TC 106 and IEEE/ICES TC34² worked together formally through common membership to achieve the goal of harmonization, between IEC TC 106 Maintenance Team¹ for this part of IEC 62209 and IEEE/ICES TC34 for IEEE Std 1528 [66]. During the process a primary effort involved was to harmonize these two standards.

To aid the user of this part of IEC 62209, a quick start guide has been prepared and included as an informative annex (see Annex O). The quick start guide is not a substitute for following the detailed procedure of the standard.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

² The International Committee on Electromagnetic Safety of the IEEE.

MEASUREMENT PROCEDURE FOR THE ASSESSMENT OF SPECIFIC ABSORPTION RATE OF HUMAN EXPOSURE TO RADIO FREQUENCY FIELDS FROM HAND-HELD AND BODY-MOUNTED WIRELESS COMMUNICATION DEVICES –

Part 1: Devices used next to the ear (Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)

1 Scope

This part of IEC 62209 specifies protocols and test procedures for measurement of the peak spatial-average SAR induced inside a simplified model of the head with defined reproducibility. It applies to certain electromagnetic field (EMF) transmitting devices that are positioned next to the ear, where the radiating structures of the device are in close proximity to the human head, such as mobile phones, cordless phones, certain headsets, etc. These protocols and test procedures provide a conservative estimate with limited uncertainty for the peak-spatial SAR that would occur in the head for a significant majority of people during normal use of these devices. The applicable frequency range is from 300 MHz to 6 GHz.

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.

ISO/IEC 17043:2010, *Conformity assessment – General requirements for proficiency testing*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

axial isotropy

maximum deviation of the SAR measured when rotating around the major axis of the probe while it is exposed to a wave impinging from a direction along its major axis

3.2

conducted power

power delivered by the power amplifier to a matched load

3.3

frequency band

transmitting frequency range associated with a specific wireless operating mode

Note 1 to entry: The frequency band is usually referred to using rounded figures; however the actual frequency allocation may be slightly different, e.g. GSM 850 MHz band actually uses 824 MHz to 849 MHz and 869 MHz to 894 MHz, GSM 900 MHz band actually uses 880 MHz to 915 MHz and 925 MHz to 960 MHz.

3.4

basic restriction

human exposure limits for compliance with time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields measured inside the body that are based on established adverse health effects

Note 1 to entry: Within the frequency range of this Standard, the physical quantity used as a basic restriction is the specific absorption rate (SAR).

3.5

boundary proximity effect

<probe> change in the sensitivity of an electric-field probe when the probe tip is located less than one probe-tip diameter from media boundaries

Note 1 to entry: This effect is caused by distortion of the scattered field at the probe tip due to nearby dielectric phantom surface. This effect can be compensated for known probe orientation with respect to the phantom surface.

3.6

channel

RF channel

specific sub-division of the available frequency range according to the operating parameters of a wireless technology

Note 1 to entry: The number of RF channels and channel bandwidth may vary with individual wireless technologies. For the purpose of this Standard, SAR measurements are performed on specific channels; for example, the high, middle and low channels of the transmission band

3.7

correlated signals

<in time> electromagnetic fields, associated with distinct signal waveforms, yielding non-zero time-domain correlation integral at some time instant.

Note 1 to entry: For two power-limited field distributions $F_1(r, t)$ and $F_2(r, t)$, said integral is defined as:

$$(F_1 \otimes F_2)(r, t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T F_1(r, t)^+ \cdot F_2(r, t + \tau) d\tau \quad (1)$$

where r is the location vector, the superscript $+$ represents the complex conjugate operation and the symbol $\cdot$ represents the inner product operation.

Observe that two fields are uncorrelated at locations where they are geometrically orthogonal. This property does not generally hold at nearby points unless the respective waveforms are uncorrelated [62].

In case of scalar signals, correlated signal waveforms yield a non-zero time-domain correlation integral at some time instant. For two power-limited signals $s_1(t)$, $s_2(t)$, said integral is defined as:

$$(s_1 \otimes s_2)(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s_1(t)^+ \cdot s_2(t + \tau) d\tau \quad (2)$$

where the superscript $+$ represents the complex conjugate operation.

Note 2 to entry: Two uncorrelated signals would feature a vanishing correlation integral, i.e. the above integral is equal to zero.

Note 3 to entry: Formulas (1) and (2) are originally specified in IEC TR 62630 [62].

3.8

device holder

fixture constructed of low-loss dielectric material that is used to hold the device under test in the required test position during SAR measurement

3.9

device under test DUT

device that is tested according to the procedures specified in this Standard to determine the specific absorption rate

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.10

dielectric constant

real part of the complex relative permittivity of the lossy material

3.11

duty factor

ratio of the pulse duration to the pulse period of a periodic pulse train

3.12

fast SAR testing

<measurements> use of special techniques, methods or algorithms to decrease the measurement time

Note 1 to entry: Fast SAR methods do not fully comply with all of the normative requirements in this Standard. Fast SAR procedures are described in 6.6.

3.13

full SAR testing

<measurements> use of methods, procedures and specific hardware which fully comply with all of the normative requirements in this Standard, except those specified in 6.6 and 6.7.4

3.14

handset

<wireless communication device> hand-held device intended to be operated next to the ear, consisting of an acoustic output or earphone and an acoustic input or microphone, and containing a radio transmitter and receiver

Note 1 to entry: The terms "mobile" and "portable" have specific but generic meanings in IEC 60050 [61] – mobile: capable of operating while being moved (IEV 151-16-46); portable: capable to be carried by one person (IEV 151-16-47). The term "portable" often implies the ability to operate when carried on the user. These definitions are used interchangeably in various wireless regulations and industry specifications, in some cases referring to types of wireless devices and in other cases to intended use.

3.15

head mounted device headset

device operated next to the side of the head consisting of an acoustic output or earphone and a microphone and containing a radio transmitter and receiver held in position on or around the ear by mechanical support, e.g. around the head. A head mounted device (headset) is designed to be used at the ear but does not protrude into the pinna or the auditory canal. For all practical purposes of this Standard, it is considered as a handset as it contains the same basic components and performs the same basic functions

Note 1 to entry: Where the device under test is a head mounted device (headset), the user shall read the term handset to mean head mounted device throughout this Standard.

Note 2 to entry: A head mounted device that is intended to be used in a way not considered for testing by SAM phantom explained in this Standard is outside the scope of this Standard. (e.g. ear bud).

3.16

hemispherical isotropy

maximum deviation of the measured SAR when rotating the probe around its major axis with the probe exposed to a reference wave, having varying incidence angles relative to the axis of the probe, incident from the half space in front of the probe

3.17**linearity error**

maximum deviation of a measured quantity from the expected values defined by a reference line over the measurement range

3.18**multi-band**

<wireless device> capable of operating in more than one frequency band

3.19**operating mode**

wireless protocol or standard used by a device to communicate with another terminal or network

Note 1 to entry: Modern terminals may have multiple operating modes incorporated and these may operate individually or multiple modes may be simultaneously active. Examples of operating modes include GSM, EDGE, EVDO, GPRS, CDMA, WCDMA, Bluetooth®, WiFi® and others.³ Each of these modes may have one or more transmission bands associated with it.

3.20**peak spatial-average SAR**

maximum average SAR within a local region based on a specific averaging volume or mass, e.g. any 1 g or 10 g of tissue in the shape of a cube

Note 1 to entry: SAR is expressed in W/kg or equivalently mW/g.

Note 2 to entry: In this Standard, the terms peak spatial-average SAR (over 1 g or 10 g) and the terms 1 g SAR and 10 g SAR are used interchangeably.

3.21**penetration depth**

<for a given frequency> depth at which the electric field (E-field) strength of an incident plane wave, penetrating into a lossy medium, is reduced to 1/e of its value just beneath the surface of the lossy medium

Note 1 to entry: For a plane-wave incident normally on a planar half-space, the penetration depth δ is given in Formula (3):

$$\delta = \frac{1}{\omega} \left[\frac{\mu_0 \varepsilon_r' \varepsilon_0}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_r' \varepsilon_0} \right)^2} - 1 \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

3.22**phantom**

physical model similar in appearance to the human anatomy and comprised of material with electrical properties similar to the corresponding tissues

Note 1 to entry: A phantom representing the human head could be a simple spherical model or a more complex multi-tissue anthropomorphic model.

3.23**pinna auricle**

cartilaginous projecting portion of the outer ear, consisting of the helix, lobule and anti-helix

³ Bluetooth is the trademark of a product supplied by the Bluetooth SIG. WiFi is the trademark of a product supplied by Wi-Fi Alliance. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the products named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

3.24

push-to-talk device

hand-held radio transceiver in which a user operates a switch to toggle between radio transmission and reception (simplex operating mode)

EXAMPLE A two-way radio.

3.25

probe isotropy

degree to which the response of an electric field or magnetic field probe is independent of the polarization and direction of propagation of the incident wave

3.26

readout electronics

measurement system component that connects to the E-field probe and provides an analogue-to-digital conversion of the measured values to the post-processor of the measurement system

3.27

response time

time required by the measuring equipment to reach 90 % of its final value after a step variation of the input signal

3.28

scanning system

automatic positioning system capable of placing the measurement probe at specified positions

3.29

sensitivity

<of a measurement system> ratio of the magnitude of the system response (e.g. voltage) to the magnitude of the quantity being measured (e.g. electric field strength squared)

3.30

specific absorption rate

SAR

The SAR in the tissue-equivalent liquid can be determined by the rate of temperature increase or by E-field measurements, according to Formulas (4) or (5):

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (4)$$

$$SAR = c_h \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} \quad (5)$$

where

SAR is the specific absorption rate in W/kg;

E is the rms value of the electric field strength in the tissue medium in V/m;

σ is the electrical conductivity of the tissue medium in S/m;

ρ is the mass density of the tissue medium in kg/m³;

c_h is the specific heat capacity of the tissue medium in J/(kg K);

$\left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$ is the initial time derivative of temperature in the tissue medium in K/s.

3.31 Uncertainty

3.31.1

standard uncertainty

estimated standard deviation of a measurement result, equal to the positive square root of the estimated variance

3.31.2

combined uncertainty

estimated standard deviation of the measurement result obtained by combining the individual standard uncertainties of both Type A and Type B evaluations using the usual "root-sum-squares" method of combining standard deviations which were obtained by taking the positive square root of the estimated variances

3.31.3

expanded uncertainty

quantity defining an interval about the result of a measurement that is expected to encompass a distribution of values within a defined confidence interval that could reasonably be attributed to the measurand

3.32

uncertainty evaluation

<Type A> evaluation of uncertainty by the statistical analysis of a series of observations (measurements)

3.33

uncertainty evaluation

<Type B> evaluation of uncertainty by means other than the statistical analysis of a series of observations (measurements)

4 Symbols and abbreviations

4.1 Physical quantities

The internationally accepted SI units are used throughout the Standard.

Symbol	Quantity	Unit	Dimensions
α	Attenuation coefficient	reciprocal metre	1/m
c_h	Specific heat capacity	joule per kilogram per kelvin	J/(kg K)
E	Electric field strength	volt per metre	V/m
f	Frequency	hertz	Hz
J	Current density	ampere per square metre	A/m ²
P	Average (temporal) absorbed power	watt	W
T	Temperature	kelvin	K
ε	Permittivity	farad per metre	F/m
λ	Wavelength	metre	m
δ	Penetration depth	metre	m
σ	Electric conductivity	siemens per metre	S/m

NOTE In this Standard, temperature is quantified in degrees Celsius, as defined by: $T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$.

4.2 Constants

Symbol	Physical constant	Magnitude
η_0	Intrinsic impedance of free space	$120 \pi \Omega$ or 377Ω
ε_0	Permittivity of free space	$8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

4.3 Abbreviations

APS	absolute peak spatial-average SAR
CAD	computer aided design
ERP	ear reference point
DUT	device under test
RF	radio frequency
RMS	root mean square
RSS	root sum square
SAM	specific anthropomorphic mannequin
WLAN	wireless local area network
GSM	global system for mobile communications
GPRS	general packet radio service
EDGE	enhanced data rates for GSM evolution
CW	continuous wave
TDMA	time division multiple access
CDMA	code division multiple access
WCDMA	wideband code division multiple access
OFDM	orthogonal frequency-division multiplexing
DCS	digital cellular service
PCS	personal communications service
UMTS	universal mobile telecommunications system
WiMax	worldwide interoperability for microwave access
PDF	probability density function
SAR	specific absorption rate
psSAR	peak spatial-average SAR
STBC	space-time block code
MIMO	multiple input multiple output
TEM	transverse electric and magnetic
FDTD	finite-difference time-domain

5 Measurement system specifications

5.1 General requirements

A SAR measurement system consists of the SAM phantom (a human head model) filled with tissue-equivalent liquid, electronic measurement instrumentation, a scanning system and a DUT holder.

SAR shall be measured using a miniature probe that is automatically positioned to measure the internal E-field distribution in the SAM phantom representing the human head exposed to electromagnetic fields produced by the DUT. The phantom head is filled with the required tissue-equivalent liquid, representing the electrical properties of tissues in the human head.

This liquid shall be of low viscosity to allow free movement of the probe within it. From the measured E-field values, the SAR distribution and the peak spatial-average SAR value shall be calculated.

The tests shall be performed in a laboratory conforming to the following environmental conditions.

- a) Both the ambient and tissue-equivalent liquid temperatures shall be in the range of 18 °C to 25 °C, inclusive; see 7.2.6.6 to determine the liquid temperature uncertainty.
- b) Prior to tissue-equivalent liquid dielectric properties measurement and SAR measurements, the DUT, test equipment, liquid and phantom shall have been kept in the laboratory long enough for their temperatures to have stabilized (i.e. they shall not have been recently moved from another area with a different ambient temperature, such as a refrigerator or storage area).
- c) The temperature of the liquid during the SAR measurements shall be within 2 °C (or a temperature difference corresponding to a 5 % change in either ϵ' or σ if this is smaller) of that at which the dielectric properties were measured. If the temperature change exceeds this value, the dielectric properties shall be re-measured. See 7.2.6.6 to determine the liquid temperature sensitivity uncertainty.
- d) The effect of reflections from cables, test equipment, or other reflectors shall be determined by the SAR *system check* procedure described in Clause D.2, with and without the reflectors present or where necessary with the judicious placement of absorbing materials and/or the use of ferrite beads on cables.
- e) SAR measurements of test devices shall only be performed when the effects of reflections, secondary RF transmitters, etc., result in a peak spatial-average SAR (for 1 g or 10 g mass, whichever is applicable to the test) less than 0,012 W/kg by measuring the peak spatial-average SAR at (approximately) 0,4 W/kg (used to establish the 3 % low detection limit, see 7.2.9). When the effect of cables and reflectors is more than 0,012 W/kg, ferrite beads, RF absorbers and other mitigation techniques shall be applied to reduce the SAR error. If the preceding limit cannot be achieved, a value higher than 3 % (0,012 W/kg) shall be considered in the uncertainty budget in the "RF ambient conditions – reflections" row of applicable tables, provided it can be demonstrated that the SAR contribution due to reflections determined by the *system check* procedure is less than 10 % of the SAR measured for the test device. The requirement on reflections shall be verified at least every year or whenever the *system check* shows unexpected results.

During testing the DUT shall not be connected to any wireless network except a base station simulator in the lab.

System validation according to the protocol defined in Clause D.3 shall be done at least once per year, additionally when a new system is put into operation and whenever modifications have been made to the system, such as a new software version, different type or version of readout electronics or different probes. The standard sources used for *system validation* shall be designed and validated to meet the requirements specified in Annex D. Additional sources for dipoles and wave guides at specific frequencies not currently included in Tables D.1, D.2, G.1 and G.2 may be used as standard sources provided they meet the requirements specified in D.3.6 and Annex G.

The measurement system shall be validated as a complete system. Calibration of the probe separately from the system is allowed, provided that the electrical interface characteristics between the probe and readout electronics are specified and implemented during measurements. The probe(s) shall be calibrated together with an identical amplifier, measurement device and data acquisition system. The probe shall be calibrated in a tissue-equivalent liquid at the appropriate operating frequency and temperature range, according to the methodology described in Annex B.

The lower detection limit shall be less than or equal to 0,01 W/kg, and the maximum detection limit shall be higher than 100 W/kg. The probe sensitivity and isotropy shall be determined in the tissue-equivalent liquid. The probe response time shall be specified. The outermost

diameter of the probe tip shall not exceed 8 mm in the vicinity of the measurement elements for frequencies up to and including 2 GHz. For frequencies above 2 GHz, the probe tip diameter shall not exceed $\lambda/3$, where λ is the wavelength in the liquid. The probe tip diameter may be larger if it can be shown that specific requirements are met.

A larger probe diameter is acceptable if it can be demonstrated that the E-field from any potential field distribution can be measured with an uncertainty of less than $\pm 15\%$ ($k = 2$) at the distances from the surface of phantom, as listed in Table 1 or at the distances recommended by the dosimetric system manufacturer (whichever is less). The methodology of how to determine this uncertainty is not part of this Standard and shall be developed by the user. Without such an uncertainty methodology this may not be acceptable by national authorities.

Where this Standard explicitly specifies performance characteristics for the measurement system or a part of the measurement system, the manufacturer of the system or of the part, or the system integrator shall document the conformity with the provisions of this Standard.

5.2 Phantom specifications (shell and liquid)

This Standard provides test procedures for a sagittally-bisected SAM phantom oriented horizontally only. For the typical set-up of a sagittally-bisected phantom, each half of the head model is placed on its side, and the DUT is placed underneath. Phantoms that cannot use the procedures in this document are outside the scope of this Standard.

The phantom shall be filled with head tissue-equivalent liquid with the required dielectric properties.

To minimize reflections from the upper surface of the tissue-equivalent liquid, the depth of the liquid should be at least 15 cm, which is approximately the distance between the ears of a typical human head. Liquid depth of less than 15 cm may be used only if it is demonstrated (e.g. using numerical simulations) that the effect on peak spatial-average SAR is less than 1 % under worst-case conditions. If it is more than 1 % but less than 3 %, uncertainty for the worst-case value from the demonstration shall be added to the uncertainty budget.

The dielectric parameters shall be evaluated and compared with the values given in Table A.3 using linear interpolation. This measurement can be performed using the equipment and procedures described in Annex J. The measured dielectric properties, not the values of Table A.3, shall be used in the SAR calculations.

NOTE See 6.2.1 for the allowable variations between the measured and the Table A.3 dielectric parameters, as defined for the purposes of this Standard.

At least three reference points shall be defined on the phantom by the phantom manufacturer for use in aligning the scanning system with the phantom. These points shall be visible to the user, enclosing at least 80 % of the phantom top surface and each point being at least 20 cm apart. Specifications for the phantom and head tissue simulant liquid are given in Annex A.

The rationale for choosing the specific head phantom model (i.e. SAM) described in this Standard is based on the following criteria.

- a) The peak spatial-average SAR shall be a conservative estimate of the actual value expected to occur in the heads of a significant majority of persons, regardless of age, gender and ethnicity, during the intended use of wireless handsets.
- b) The test results shall not unnecessarily overestimate the peak SAR expected in actual users.
- c) The phantom shall allow stable and repeatable device positioning for peak spatial-average SAR measurements and be effective for verifying repeatability and reproducibility demonstrated by inter-laboratory comparisons.
- d) The phantom shall be practical for routine SAR evaluation.

- e) The phantom shall support these criteria for contemporary and future handset designs and be unbiased with respect to any particular handset design or shape.

Based on the currently available science, literature, and experience, the design of a phantom that meets the above criteria, especially item a), i.e. providing a conservative estimate of the actual SAR, is a function of at least the following parameters:

- 1) head size and shape of the SAM phantom shell;
- 2) dielectric parameters and homogeneity of tissue-equivalent liquids and phantom shell;
- 3) ear pinna/auricle size, shape, location and material properties;
- 4) exclusion of the hand for measuring SAR in the head (see Annex N).

5.3 Hand and device holder considerations

During normal operation, the head and hand are in the near-field of the DUT when used next to the ear and hence both absorb energy. For extremities such as the hand, a higher SAR limit is allowed, i.e. 4 W/kg averaged over 10 g of tissue in ICNIRP RF exposure guidelines [64] and IEEE Std C95.1-2005 [65]. Numerical and experimental studies have shown that the SAR in the hand at the power levels used by handsets is not expected to exceed those limits (Francavilla et al. [43], Gandhi et al. [52], Jensen and Rahmat-Samii [69], [70], Kuster et al. [83], Watanabe et al. [149]). Furthermore, a practical phantom for SAR measurement in the hand is currently unavailable. Therefore, SAR measurement in the hand is not addressed in this Standard.

The influence of a hand holding a handset to the head during SAR measurements was considered in IEEE Std 1528-2013 [66]. Earlier work by Balzano et al. [2] and Kuster et al. [83] reported that the presence of the hand either decreased or had no significant effect on the head SAR, although numerical results by Meyer et al. in 2001 [105] showed a case with 7 % increase in head SAR due to the hand. These deviations in head SAR were concluded to be within the conservativeness provided by the SAM phantom. Based on these studies, the exclusion of the hand from test procedures would lead to head SAR overestimation in the majority of situations, as confirmed by more recent research results [4], [5], [77] on handset SAR levels. For these reasons, hand models are not considered in this Standard.

The state of dosimetric research on the effect of the hand on head SAR produced by handsets is described in Annex N. This research shows that there are cases when the SAR produced by handsets in the SAM phantom may increase as well as decrease significantly due to the hand holding the handset, for specific handset designs, operating bands and hand grips. These initial findings have shown that the SAM phantom alone may still overestimate head SAR in a statistically significant number of cases compared to when the hand is present for the measurement. Nevertheless they deserve further investigations, which may potentially warrant future changes in this recommended practice.

5.4 Scanning system requirements

The SAR probe scanning system shall be able to scan the required measurement regions of the SAM phantom that are within the projections of a DUT in order to evaluate the three-dimensional SAR distribution. The tolerance of the probe tip positioning at a measurement point shall be $\leq 0,2$ mm. The positioning resolution shall be ≤ 1 mm. The probe positioning accuracy of the scanning system requires the phantom reference points defined by the phantom manufacturer to be verified.

5.5 Device holder specifications

The device holder shall permit the DUT to be positioned according to the definitions given in 6.2.4. It shall be made of low-loss and low-permittivity material(s): loss tangent $\leq 0,05$ and relative permittivity ≤ 5 .

In coupling the DUT to the phantom, the device holder should provide the minimum amount of contact to the DUT to give a secure hold and maintain the required position during the measurement. The device holder should aid the operator to position the DUT repeatably. In cases where a default relative positioning cannot be achieved, e.g. due to the device holder interaction with buttons and sensors on the DUT, then minimal position offsets in a predefined direction should be applied to achieve the required DUT test position.

The positioning uncertainties shall be estimated following the procedures described in 7.2.5.

To verify that the device holder does not perturb SAR, a substitution test shall be done by supporting the test handset with low relative permittivity and low-loss foam blocks, against a flat phantom (see 7.2.5.2).

5.6 Characteristics of the readout electronics

The probe output is processed by the readout electronics and associated instrumentation that combine the voltages from the probe's sensors to provide an output that is proportional to the amplitude-squared of the E-field incident on the sensors. Detector diodes at the dipole feed point are used to rectify the sensor voltages. The rectified signals are transmitted through resistive (RF-transparent) lines to the readout electronics system. For a continuous-wave signal at low field strength levels, the probe output is proportional to the square of the amplitude of the incident E-field; at higher signal levels (above the diode compression point), the output is not linearly proportional to $|E|^2$, but becomes proportional to $|E|$. This signal compression will lead to an underestimation of the actual SAR at high field strength conditions if it is not compensated correctly through probe calibration. Also amplifiers in the readout electronics can deviate from an ideal linear response and introduce additional uncertainty.

For uncertainties associated with the probe readout electronics, see 7.2.2.6.

6 Protocol for SAR assessment

6.1 General

All measurements should be carried out with good laboratory practice, e.g. in accordance with ISO/IEC 17025 or any other local and national requirements for device certification. This Standard does not contain information needed to configure wireless handsets for specific wireless technologies, including specific settings such as the operating mode or data rate to ensure that the maximum SAR is obtained.

6.2 Measurement preparation

6.2.1 Preparation of tissue-equivalent liquid and system check

The dielectric properties of the tissue-equivalent liquids shall be measured within 24 h before the SAR measurements and every two days of continuous use. Less frequent dielectric measurements are acceptable if the laboratory can document compliance with Table A.3 and the requirements of 5.2 using measurement intervals up to but not greater than one week. If the handset test series takes longer than 48 h, the liquid parameters shall also be measured at the end of the handset test series.

Tissue equivalent liquids shall yield measured relative permittivity and conductivity values within ± 10 % of the target values at frequencies at which the SAR is measured, when 7.2.7.2 is used to correct measured SAR for the deviations in permittivity and conductivity; otherwise, the relative permittivity and conductivity shall be within ± 5 %. If the correction for the deviation of the dielectric parameters (see 7.2.7) is applied, it shall be within ± 10 %.

A *system check* according to the procedures of Annex D shall be completed within 24 h before performing SAR measurements for a DUT. The purpose of the *system check* is to verify that the system operates within its specifications at the test frequencies. The *system check* is a

test of repeatability with a calibrated source to ensure that the system works correctly during the compliance test. The *system check* shall be performed in order to detect possible drift over short time periods and other uncertainties in the system, such as:

- a) unacceptable changes in the liquid parameters, e.g. due to water evaporation or temperature changes;
- b) component failures;
- c) component drift;
- d) operator errors in the set-up or the software parameters;
- e) adverse environmental conditions for the system, e.g. RF interference.

The *system check* procedure shall be performed on the same SAR measurement system, with the same SAR probe(s) and tissue-equivalent liquid as the SAR evaluation of the device for each frequency band tested.

6.2.2 Preparation of the wireless device under test (DUT)

The antenna(s), battery and accessories shall be those specified by the manufacturer, and documented in the measurement report. The battery shall be fully charged before each measurement, without external connections or cables.

For 3G/4G technologies, the RF output power and frequency (channel) shall be controlled by a wireless link to a base station or network simulator. For WLAN, Bluetooth, WiMax, etc., test software and internal test codes are generally used.

If tests are performed using prototypes, it shall be verified that the commercial version has exactly the same mechanical and electrical characteristics as the tested prototype. If this cannot be guaranteed, testing shall be repeated by sampling of unmodified commercial product versions.

The DUT shall be set to transmit at the highest time-averaged maximum output power level for conditions of use next to the ear. The test shall be performed at a maximum power level consistent with tune-up specifications and production variations. The measured SAR shall be scaled to the highest time-averaged maximum output power allowed for product units. The scaling shall be documented in the test report. The maximum time-averaged power levels of the DUT shall be verified, e.g. by conducted power tests with a fully charged battery to support the scaling. Check for the possibility of SAR variations occurring over the course of the SAR measurement.

For certain noise-like digitally modulated signals (see 6.2.3.4) the time-averaged maximum output power may vary in different operating modes according to signal bandwidth, modulation scheme, peak-to-average power ratio and data rate. These conditions require careful selection of device configurations for SAR measurement. When time division duplex (TDD) scheme is used, the uplink and downlink signals are transmitted at the same frequency; typically in random orders with non-periodic duty factors. It is important that these factors are considered for such wireless technologies to ensure SAR is measured correctly. For example, the output power of IEEE Std 802.11 (Wi-Fi/WLAN) devices during SAR measurement is typically set by test software to the maximum level for the corresponding modulation and data rate. The test software also configures the device to transmit with a fixed periodic duty factor to enable the SAR to be measured correctly. The measured SAR may need to be scaled to a higher transmission duty factor corresponding to the maximum exposure expected during actual use. For handsets with Wi-Fi functionality, the lowest order modulation is typically expected to have the lowest peak-to-average power ratio and typically has highest maximum average output power; therefore, when appropriate, the lowest order modulation shall be tested to ensure conservativeness and to avoid SAR measurement errors due to high peak-to-average power ratios. Additional measurement and probe calibration considerations may be required for IEEE Std 802.11ac 160 MHz channels.

6.2.3 Operating modes

6.2.3.1 General

The wireless technologies used by the DUT will determine the operating mode and type of signals (frequency, modulation scheme, output power, etc.) used in the SAR tests. All applicable operating modes intended for device use next to the ear shall be considered for testing. Subclause 6.7.2 provides a test reduction procedure for modes operating in the same technology and frequency band. The signal characteristics of operating modes can be described by 6.2.3.2 to 6.2.3.4. For devices that do not operate with a periodic duty factor, special test software or equipment is generally required to configure the DUT to transmit with a maximum periodic duty factor before conducting the SAR measurement.

6.2.3.2 Constant-envelope operating modes (analogue modulations)

A DUT operating in modes where the envelope of the signal in the time domain is constant, e.g. frequency division multiple access (FDMA) modes, shall be tested with a CW-equivalent (carrier) signal using test codes or a base-station simulator.

6.2.3.3 TDMA (pulse-envelope) operating modes

A DUT operating in TDMA mode may transmit voice and data using different number of slots. Depending on the data rate, data operating modes using higher order modulations may operate at reduced output power to accommodate higher peak-to-average power ratios; for example, EDGE. If data operating modes are operational during voice calls, such as in certain GSM/GPRS/EDGE dual transfer operating mode configurations, the number of time slots and the highest output power for both voice and data shall both be considered in configuring the simultaneous transmission conditions for testing SAR next to the ear.

If it is not feasible to configure the device to operate at its maximum time-averaged output power in multi-slot conditions for voice and/or data due to test equipment limitations, the test shall be performed in single-slot operating mode provided the results are scaled to the maximum number of slots that can be transmitted. Any difference in maximum output power between single slot and multi-slot conditions shall also be accounted for in the scaling. It shall be demonstrated that SAR scaling is either linear or slightly less than linear with respect to output power and the relative SAR distribution is independent of output power. The relationship between SAR and output power shall be documented in the SAR test report according to the power scaling procedure in 6.2.3.5.

6.2.3.4 Digital operating modes with random amplitude and phase modulation

For a DUT in operating modes that employ spread spectrum CDMA, orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) or other modulation schemes where the envelope of the signal varies randomly with time, the output power generally varies because of changing peak-to-average power ratios due to data rate and other technology-specific operating parameters and conditions. The tests shall be performed at a time-averaged maximum output power level supported by the DUT and, when applicable, with a fixed periodic transmission duty factor, for example TDD systems. In some cases, the DUT may not be able to sustain the maximum average power for long durations due to peak-to-average and other design requirements. Care shall be taken to ensure the transmitter is configured to operate at an acceptable time-averaged output power level as allowed by the DUT and to scale the measured SAR to the required highest time-averaged output level. Information on CDMA IS-95, including probe linearity compensation, has been published by Di Nallo and Faraone [25]. Further information for WCDMA, LTE, etc. was recently reported by Nadakuduti et.al [116].

6.2.3.5 SAR scaling procedure for power or signal variations

SAR scaling is the extrapolation of the SAR of a DUT determined with a test signal (mod_X) to a SAR of the same device in the same exposure test position and frequency channel with a different signal (mod_Y). The difference can be in the power level, modulation, or both. The time-averaged RF output power ratio of mod_X and mod_Y shall be determined either by

measuring the average power for both or by numerical integration of the power envelope if the signals are sufficiently well known. SAR scaling is possible if the following points are satisfied.

- a) The same RF amplifier stage is used for mod_X and mod_Y .
- b) The same antenna is used for mod_X and mod_Y and no MIMO (multiple-input and multiple-output) or other antenna diversity techniques are applied.
- c) The probe modulation response uncertainty has been evaluated for the modulated signal mod_X (see 7.2.2.4) and the SAR has been determined for mod_X .
- d) The time-averaged RF output power ratio (R_p) of mod_X and mod_Y after the RF amplifier stage is known according to Formula (6):

$$R_p = \frac{P_{\max, \text{mod}_Y}}{P_{\text{mod}_X}} \quad (6)$$

where $P_{\max, \text{mod}_Y}$ corresponds to the highest time-averaged output power setting. If the two signals differ in modulation, then the test signal will be set at maximum time-averaged output power: $P_{\text{mod}_X} = P_{\max, \text{mod}_X}$.

The factor R_p shall be determined by experimental means (e.g. measurement using an average power meter).

- e) The RF carrier frequency of mod_X is the same as for mod_Y .
- f) The RF signal bandwidth ratio (R_m) of mod_X and mod_Y satisfies Formula (7):

$$R_m = \left| \frac{BW_{\text{mod}_Y}}{BW_{\text{mod}_X}} - 1 \right| \times 100 \leq 30\% \quad (7)$$

- g) The channel bandwidths of mod_X and mod_Y are each within 5 % of the carrier frequency.

If the above requirements are fulfilled a scaling of the SAR from mod_X to mod_Y shall be performed according to the Formula (8) and the scaling uncertainty as specified in 7.2.11:

$$SAR_{\text{mod}_Y} = R_p \cdot SAR_{\text{mod}_X} \quad (8)$$

If the approach in this subclause is used, it shall be stated in the measurement report that points a) to g) are satisfied.

For handsets supporting push-to-talk modes operated next to the ear, the maximum duty factor shall be deemed to be 0,5 based on 50 % talk and 50 % listen.

6.2.4 Positioning of the DUT in relation to the phantom

6.2.4.1 General

This standard specifies two handset test positions against the head phantom – the "cheek" position and the "tilt" position. These two test positions are defined in 6.2.4.2 and 6.2.4.3, respectively. The DUT shall be tested in both of these positions on the left and right sides of the SAM phantom. In some cases (e.g. asymmetric handsets) the DUT positioning procedures representing intended use conditions (see 6.2.4.2 and 6.2.4.3) cannot be used. In this event, alternative alignment procedures shall be adapted with all details provided in the test report. These alternative procedures shall replicate intended use conditions as closely as possible, according to the intent of the procedures described in 6.2.4.2 and 6.2.4.3.

For other form factors associated with head mounted devices (used at the ear but not protruding into the pinna or the auditory canal), the positions and orientations used for

assessment shall align as closely as possible with those defined for handsets in 6.2.4.2 and 6.2.4.3. Consideration for the intended use orientation shall also be given. See also 6.2.4.6.

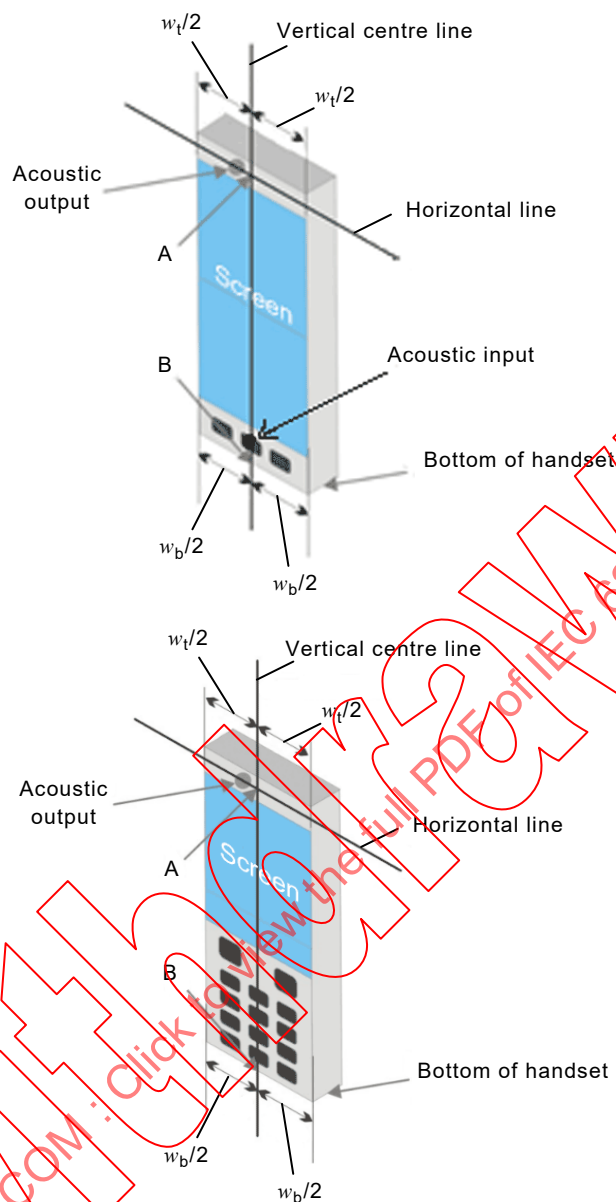
Where the head mounted device contains an acoustic output and acoustic input, then these shall be aligned to the ERP and M reference points, respectively.

Clear details of the actual test positions used shall be fully documented in the test report.

6.2.4.2 Definition of the cheek position

The cheek position is established in points a) to i) as follows.

- a) Configure the DUT for talk operation, if necessary. For example, for a DUT with a flip, swivel or slide cover piece, open the cover if this is consistent with talk operation. If the DUT can also be used with the cover closed, both configurations shall be tested.
- b) Define two imaginary lines on the DUT, the vertical centreline and the horizontal line, for the DUT in vertical orientation as shown in Figure 1. The vertical centreline passes through two points on the front side of the DUT: the midpoint of the width w_t of the handset at the level of the acoustic output (Point A in Figure 1); and the midpoint of the width w_b at the bottom of the handset (Point B). The horizontal line is perpendicular to the vertical centreline and passes through the centre of the acoustic output (see Figure 2). The two lines intersect at Point A. Note that for many handsets, Point A coincides with the centre of the acoustic output. However, the acoustic output may be located elsewhere on the horizontal line. Also note that the vertical centreline is not necessarily parallel to the front face of the DUT, especially for clam-shell handsets, handsets with flip cover pieces, and other irregularly shaped handsets.
- c) Position the DUT close to the surface of the phantom such that Point A is on the (virtual) extension of the line passing through Points RE (right ear) and LE (left ear) on the phantom (see Figure 2a and Figure 2b). The plane defined by the vertical centreline and the horizontal line of the DUT shall be parallel to the sagittal plane of the phantom.
- d) Translate the DUT towards the phantom along the line passing through RE and LE until the handset touches the ear (see Figure 2c).
- e) Rotate the DUT around the (virtual) LE-RE line until the DUT vertical centreline is in the reference plane (see Figure 2d).
- f) Rotate the DUT around its vertical centreline until the plane defined by the DUT vertical centreline and horizontal line is parallel to the N-F line, and then translate the DUT towards the phantom along the LE-RE line until DUT Point A touches the ear at the ERP (ear reference point) (see Figure 2e).
- g) While keeping Point A on the line passing through RE and LE and maintaining the DUT in contact with the pinna, rotate the handset about the line N-F until any point on the DUT is in contact with a phantom point below the pinna (cheek) (see Figure 2f). The physical angles of rotation shall be documented.
- h) While keeping DUT Point A in contact with the ERP, rotate the handset around a line perpendicular to the plane defined by the DUT vertical centreline and horizontal line and passing through DUT Point A, until the DUT vertical centreline is in the reference plane (see Figure 2g).
- i) Verify that the cheek position is correct as follows:
 - the N-F line is in the plane defined by the DUT vertical centreline and horizontal line;
 - DUT Point A touches the pinna at the ERP;
 - the DUT vertical centreline is in the reference plane.



IEC

Key w_t Width of the handset at the level of the acoustic output w_b Width of the bottom of the handsetA Midpoint of the width w_t of the handset at the level of the acoustic outputB Midpoint of the width w_b of the bottom of the handset

Figure 1 – Vertical and horizontal reference lines and reference Points A, B on two example device types: a full touch screen smart phone (top) and a keyboard handset (bottom)



NOTE The reference points for the right ear (RE), left ear (LE), and mouth (M) which establish the Reference Plane for handset positioning, are indicated. This device position shall be maintained for the sagittal phantom test set-up shown in Figure A.4.

Figure 2a – Phone position 1 – cheek position

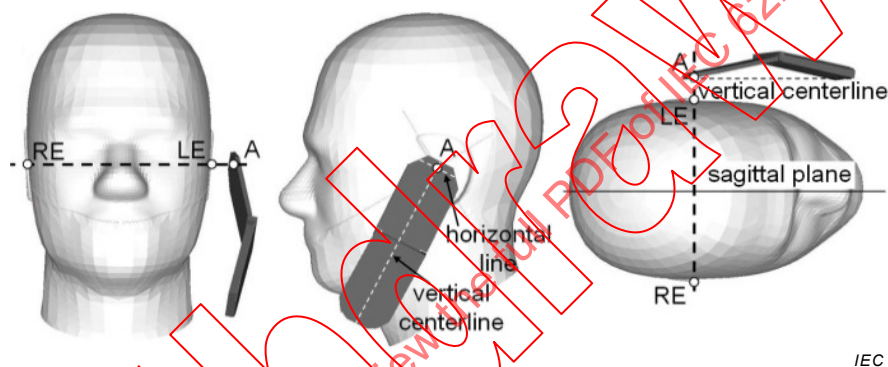
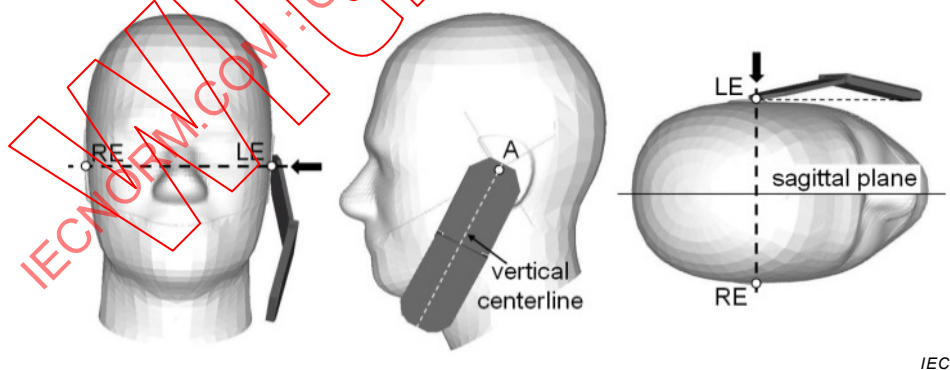
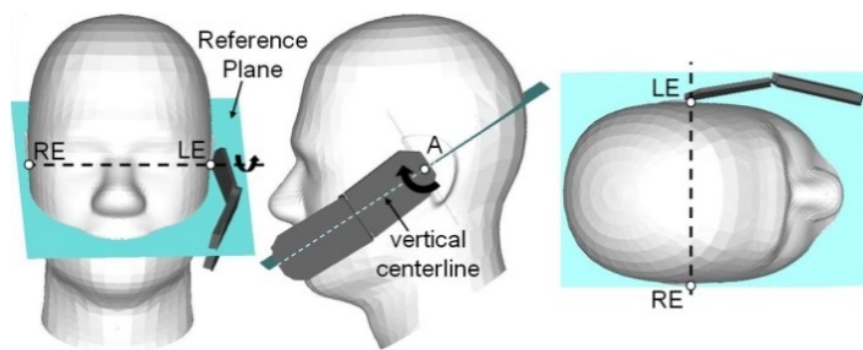


Figure 2b – One possible DUT position against the head after Step c).



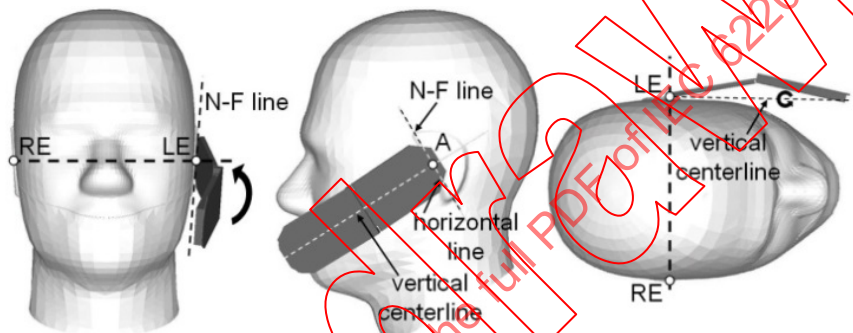
NOTE The black arrows show the direction of translation of the DUT for Step d).

Figure 2c – Handset position of Figure 2b after applying Step d)



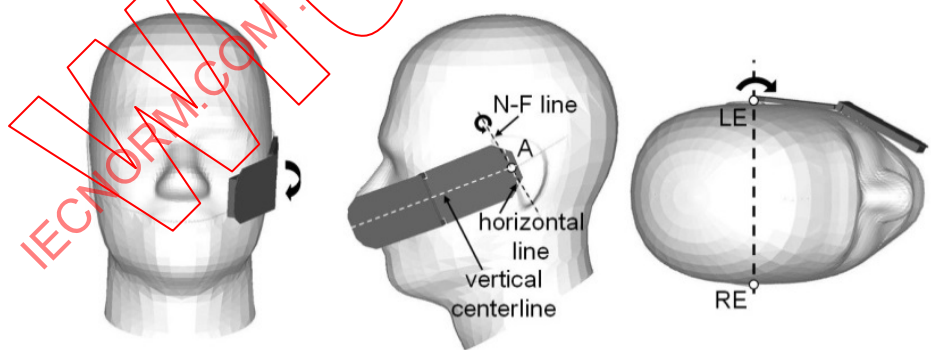
NOTE The curved black arrows show the direction of rotation of the DUT for Step e).

Figure 2d – Handset position of Figure 2c after applying Step e)



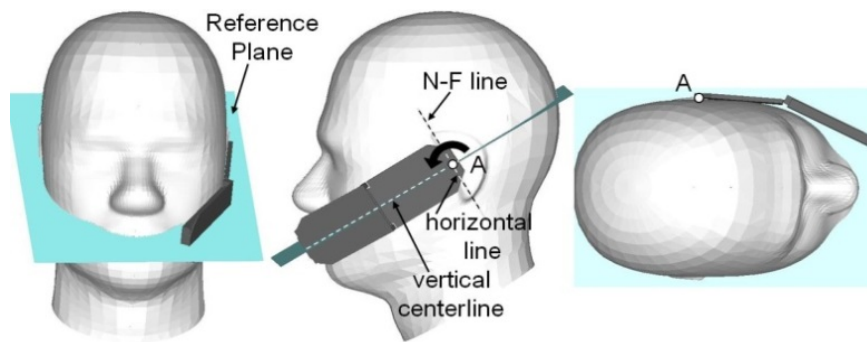
NOTE The curved black arrows show the direction of rotation of the DUT for Step f).

Figure 2e – Handset position of Figure 2d after applying Step f)



NOTE The curved black arrows show the direction of rotation of the DUT for Step g)

Figure 2f – Handset position of Figure 2e after applying Step g)



NOTE The curved black arrows show the direction of rotation of the DUT for Step h).

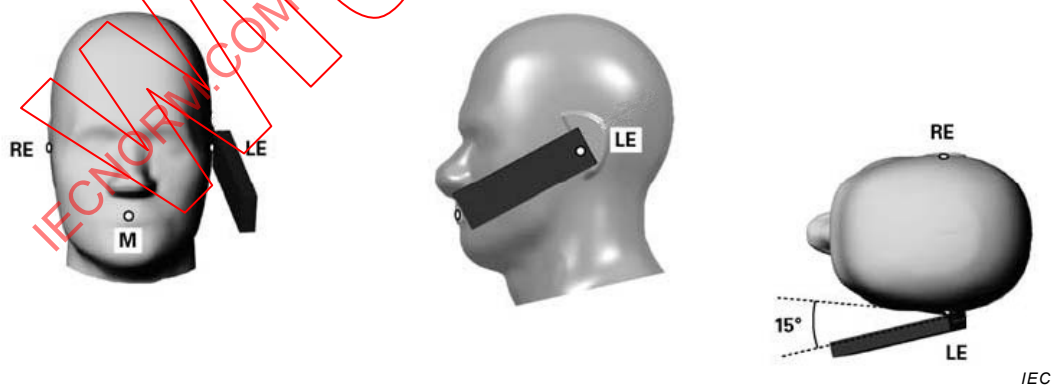
Figure 2g – Handset position of Figure 2f after applying Step h)

Figure 2 – Cheek position of the wireless device on the left side of SAM where the device shall be maintained for the phantom test set-up.

6.2.4.3 Definition of the tilt position

The tilt position is established in points a) to d) as follows.

- Repeat Steps a) to i) of 6.2.4.2 to place the DUT in the cheek position (see Figure 2).
- While maintaining the orientation of the DUT, move the DUT away from the pinna along the line passing through RE and LE far enough to allow a rotation of the handset away from the cheek by 15° .
- Rotate the DUT around the horizontal line by 15° (see Figure 3).
- While maintaining the orientation of the DUT, move the DUT towards the phantom on a line passing through RE and LE until any part of the DUT touches the ear. The tilt position is obtained when the contact is on the pinna. If the contact is at any location other than the pinna, e.g. extended antenna on the back of the phantom head, the angle of the DUT shall be reduced. In this case, the tilt position is obtained if any part of the DUT is in contact with the pinna and a second part of the DUT is in contact with the phantom, e.g. the antenna with the back of the head.



Key

- M Mouth reference point
- LE Left ear reference point
- RE Right ear reference point

This device position shall be maintained for the phantom test set-up.

Figure 3 – Tilt position of the wireless device on the left side of SAM

6.2.4.4 Antenna

For devices that employ one or more external antennas with variable positions (e.g. antenna extended, retracted, rotated), these shall be positioned in accordance with the user instructions provided by the manufacturer. If no intended antenna position is specified, tests shall be performed with the antenna(s) oriented to obtain the highest exposure condition while still maintaining the device in the cheek and tilt positions of 6.2.4.2 and 6.2.4.3. For antennas that can be extended, testing shall be performed with the antenna fully extended and fully retracted. The antenna configurations shall be documented in the measurement report. Transmit diversity antennas are tested independently for SAR.

6.2.4.5 Options and accessories supplied by the DUT manufacturer

Other accessories that may affect the RF output power or RF current distribution of the DUT when used next to the ear shall be tested according to the intended use conditions specified by the manufacturer. For example, (a) optional antennas, (b) optional battery packs that change the handset performance or SAR, etc., and (c) wires connected during intended use. NFC or wireless charging options generally do not require SAR measurement but their influence on the SAR of other transmitters may need to be considered.

6.2.4.6 DUTs with alternative form factor

For the purpose of this Standard the DUT is considered to be a conventional bar type (rectangular, cuboid) form factor. However the basic principles defined and specified here may be applied to other form factors for other devices covered by the scope of this Standard.

One such device is a wireless headset (e.g. connected by Bluetooth), which can be evaluated in the same manner as any other DUT in this Standard by applying a similar geometry and coordinate mapping from this device to the DUT definition provided in Figure 4.

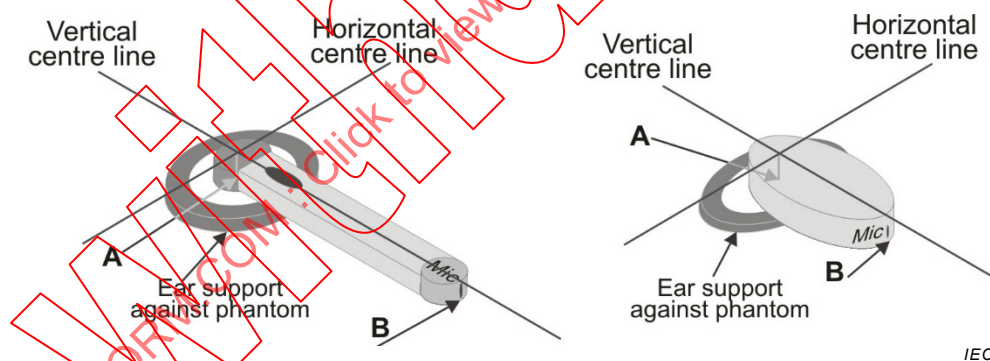


Figure 4 – An alternative form factor DUT and standard coordinate and reference points applied

The basic features of any device that allow for easy mapping to the geometry and coordinate system in use in this Standard include the identification of an acoustic output point that will be defined as point A when at the mid-point of the width of the device and a point B that will be at the bottom of the device, where the primary microphone location is at the end nearest to the mouth.

Other considerations that shall be made here are the operating modes available in such a device and the maximum operating power levels that apply.

All details relating to alternative form factor DUTs shall be fully documented in the measurement report, including diagrams or photographs that would aid the description. Sound engineering practice shall be applied to implement the mapping of an alternate form factor device.

6.2.5 Test frequencies for DUT

A DUT shall be compliant with applicable exposure standards at all transmitting frequencies. However, testing at every channel is impractical and unnecessary. The purpose of 6.2.5 is to define a practical subset of channels where SAR measurements are to be performed. This subset of channels is chosen so as to give a characterization of a DUT with any applicable exposure standards.

NOTE In some cases of Wi-Fi technology and other wide band systems such as WiMAX, the maximum output power of a channel may vary across the frequency band. The required test channels may not include the channel with the highest RF transmit power. For example for Wi-Fi based technologies, the channels operating at the band edge may produce lower power in order to comply with specific out-of-band limits, therefore it may be necessary to perform the testing on the channel adjacent to the band edge channel. For other devices, the maximum output power of different channels may be optimized differently. Therefore before performing testing using the specific channels required by this standard, the maximum output power of the channels needs to be verified to determine whether the chosen channels are indeed producing the highest rated output of the device. The process used to establish the channels for testing purposes shall be documented in the test report.

For each operating mode of a wireless technology used by the DUT, tests shall be performed at the channel closest to the centre of each transmit frequency band. If the width of the transmit frequency band ($\Delta f = f_{\text{high}} - f_{\text{low}}$) exceeds 1 % of its centre frequency f_c , then the channels at the lowest and highest frequencies of the transmit band shall also be tested. Furthermore, if the width of the transmit band exceeds 10 % of its centre frequency, Formula (9) shall be used to determine the number of channels, N_c , to be tested:

$$N_c = 2 \times \text{roundup} [10 \times (f_{\text{high}} - f_{\text{low}}) / f_c] + 1 \quad (9)$$

where

- f_c is the centre frequency channel of the transmission band in Hz;
- f_{high} is the highest frequency channel of the transmission band in Hz;
- f_{low} is the lowest frequency channel of the transmission band in Hz;
- N_c is the number of channels.

The function $\text{roundup}(x)$ rounds its argument x to the next highest integer. Thus, the number of channels, N_c , will always be an odd number. The channels tested shall be equally spaced apart in frequency (as much as possible) and shall include the channels at the lowest and highest frequencies. Probe calibrations shall be valid for all test frequencies and liquid dielectric parameters at those frequencies. Substantially large transmission bands may require multiple probe calibration points and different tissue-equivalent liquids to cover the entire frequency band.

NOTE 1 Regulatory agencies may have different requirements on the number of channels to be tested per transmission band, according to frequency allocations and other wireless technology requirements.

NOTE 2 If the test frequency yielding the highest output power does not correspond to the middle channel, the test requirements may vary among different national regulatory authorities.

6.3 Tests to be performed

In order to determine the highest value of the peak spatial-average SAR of a handset, all required device positions, configurations and operating modes shall be tested for each frequency band according to Steps 1 to 3 below. For devices capable of simultaneous transmission, apply the appropriate procedure described in 6.4.3. A flowchart of the test process is shown in Figure 5.

Step 1: The measurement procedure described in 6.4.2 shall be performed at the channel that is closest to the centre of the transmit frequency band (f_c) for each transmit antenna used:

- a) all device test positions (cheek and tilt, for both left and right sides of the SAM phantom, as described in 6.2.4);

- b) all use configurations for each device position in a), e.g. with device slide or cover open and closed or antenna extended and retracted;
- c) all operating modes, e.g. analogue and digital modulation for each device position in a) and configuration in b) in each frequency band.

Step 2: For the condition providing highest peak spatial-average SAR determined in Step 1 for each configuration in a), b) and c), perform all tests described in 6.4.2 at all other test frequency channels, e.g. lowest and highest channels (see 6.2.5). In addition, for each device position, configuration and operating mode where the peak spatial-average SAR value determined in Steps 1 a), b) and c) is greater than or equal to half of the applicable SAR limit, testing of all required channels is required; otherwise, it is not required.

Step 3: Examine all data and determine the reporting requirements for the largest peak spatial-average SAR value measured in Step 1 and Step 2. An example is given in Annex M.

Withd 2016
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

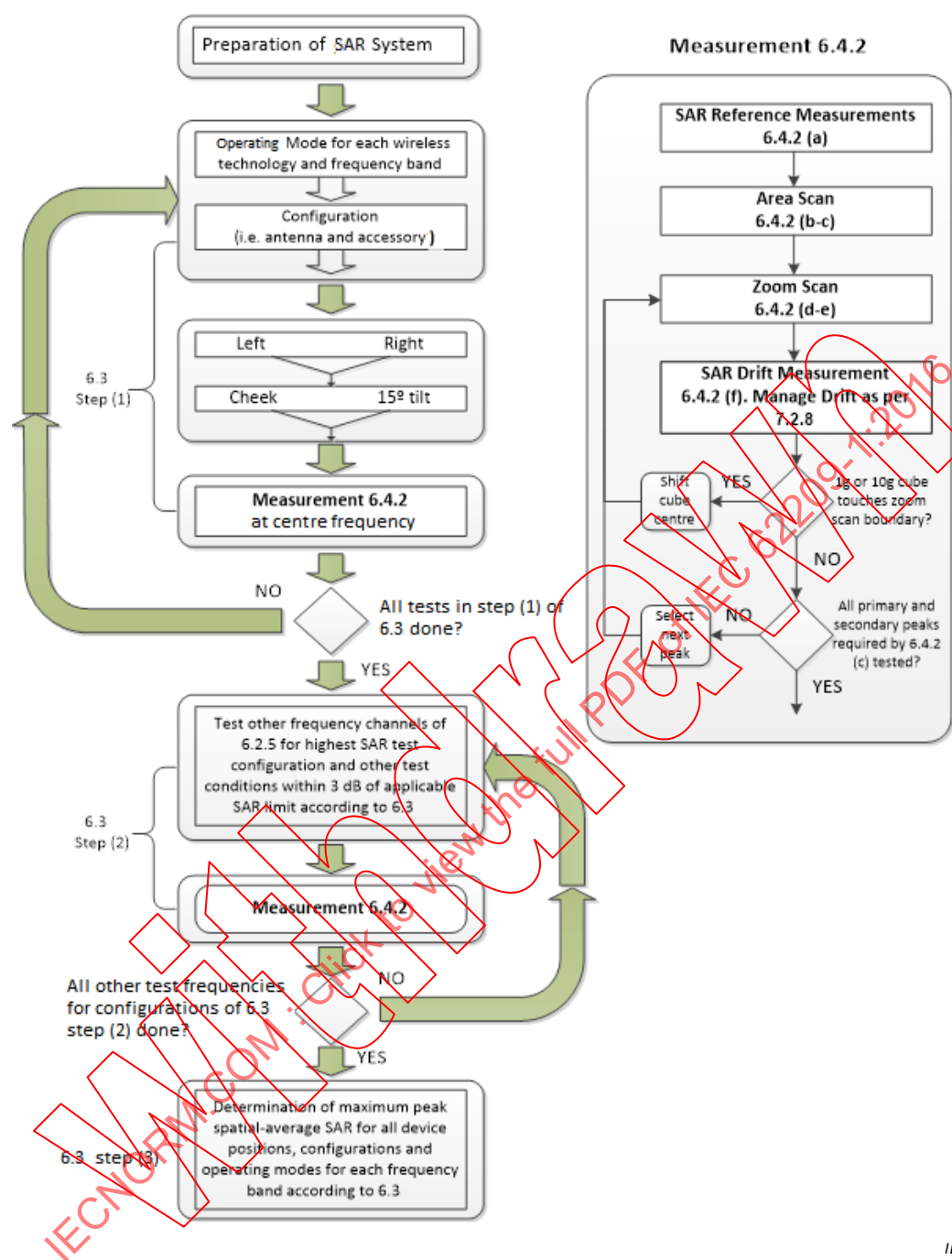


Figure 5 – Block diagram of the tests to be performed

6.4 Measurement procedure

6.4.1 General

Subclause 6.4 describes the procedure for evaluating the peak spatial-average SAR of the DUT, including the minimum number of drift measurements to be performed. If the drift is high for a particular operating mode and frequency channel, more drift measurements may be necessary, as described in 7.2.8.

6.4.2 General procedure

The following procedure shall be performed for each of the test conditions (see Figure 5) described in 6.3. Table 1 provides the measurement parameters used in the area scan and Table 2 for the zoom scan.

- a) Measure the local SAR at a test point within 10 mm of the inner surface of the phantom where the measured local SAR exceeds the lower detection limit of the measurement system. Preferably, the test point will be above the expected peak SAR location within said distance from the phantom surface. As explained at Step f) below, a comparative measurement will be made by the system at the same point after completion of the SAR measurement.
- b) The area over which the SAR measurement is performed shall cover at least an area larger than the projection of the handset and antenna. For some handsets, the area projected onto the phantom can be large such that the probe may not reach all points. In this case, rotated phantoms may be used and the area may be assessed by multiple overlapping area scans. Measure the two-dimensional SAR distribution within the phantom (area scan procedure). The boundary of the measurement area shall be with respect to the SAM phantom requirements. The measurement resolution and spatial resolution for interpolation shall be chosen to allow identification of the local peak locations to within one-half of the linear dimension of the corresponding side of the zoom-scan volume. The maximum grid spacing shall be 20 mm for frequencies equal to or below 3 GHz and $(60/f \text{ [GHz]})$ mm for frequencies above 3 GHz. The resolution SAR uncertainty of the measurement can be estimated using the functions in 7.2.10. The maximum distance between the geometrical centre of the probe detectors and the inner surface of the phantom shall be ≤ 5 mm for frequencies equal to or below 3 GHz and $\delta \ln(2)/2$ mm for frequencies above 3 GHz, where δ is the plane wave penetration depth and $\ln(x)$ is the natural logarithm [80]. The maximum variation of the sensor-phantom surface distance shall be ± 1 mm for frequencies equal to or below 3 GHz and $\pm 0,5$ mm for frequencies above 3 GHz. At all measurement points, the angle of the probe with respect to the line normal to the surface shall be less than 30° for frequencies equal to or below 3 GHz and 20° for frequencies above 3 GHz (see Figure 6). Table 1 provides the measurement parameters required for the area scan.
- c) From the scanned SAR distribution, identify the position of the maximum SAR value, in addition identify the positions of any local maxima with SAR values within 2 dB of the maximum value that will not be within the zoom scan of other peaks. Additional peaks shall be measured only when the primary peak is within 2 dB of the SAR compliance limit (e.g. 1 W/kg for 1,6 W/kg, 1 g limit; or 1,26 W/kg for 2 W/kg, 10 g limit).
- d) Measure the three-dimensional SAR distribution at the local maxima locations identified in Step c) (zoom scan procedure). The horizontal grid step shall be $(24/f \text{ [GHz]})$ mm or less but not more than 8 mm. The minimum zoom scan size is 30 mm by 30 mm by 30 mm for frequencies equal to or below 3 GHz. For higher frequencies, the minimum zoom scan size can be reduced to 22 mm by 22 mm by 22 mm. A smaller volume zoom scan with tighter spacing between the measurement points is allowed due to steeper decay of the E-field, which may reduce the measurement time. For frequencies above 3 GHz, the grid step in the vertical direction shall not exceed $(8 - f \text{ [GHz]})$ mm, and for frequencies equal to or below 3 GHz if uniform spacing is used the grid step shall not exceed 5 mm. If variable spacing is used in the vertical direction (non-uniform grids or graded grids), the maximum spacing between the two closest measured points to the phantom shell shall not exceed $(12/f \text{ [GHz]})$ mm for frequencies above 3 GHz, and shall not exceed 4 mm for frequencies at or below 3 GHz. Furthermore the spacing between farther adjacent points shall increase by an incremental factor not exceeding 1,5. When graded grids are used, extrapolation routines shall be tested according to 7.2.10.3.2 with the same spacing as used in measurements. The maximum distance between the geometrical centre of the probe detectors and the inner surface of the phantom shall be 5 mm for frequencies equal to or below 3 GHz and $\delta \ln(2)/2$ mm for frequencies above 3 GHz, where δ is the plane wave penetration depth and $\ln(x)$ is the natural logarithm. Separate grids shall be centred on each of the local SAR maxima found in Step c). At all measurement points, the angle of the probe with respect to the line normal to the surface shall be less than 30° for frequencies equal to or below 3 GHz and 20° for frequencies above 3 GHz.

- e) Use the post-processing, i.e. the interpolation and extrapolation procedures defined in 6.5, to determine peak spatial-average SAR values.
- f) Measure the local SAR at exactly the same test point location as in Step a). The SAR drift of the DUT may be estimated by the difference between the two measured single-point SAR values in Steps a) and f). The SAR drift shall be kept within $\pm 5\%$; otherwise, see 7.2.8 for more information on addressing SAR measurement drift.

Commercial handsets should have output power drifts within $\pm 5\%$. Some devices may have significant fluctuations in output power that are not classifiable as undesirable power drift but rather are a characteristic of the normal operating behaviour of the device. In these case, other methods such as power scaling can be performed with the aim of ensuring that an accurate and conservative SAR is obtained.

Uncertainties due to field distortion between the media boundary and the dielectric enclosure of the probe shall also be minimized, which is achieved if the distance between the phantom surface and physical tip of the probe is larger than one probe tip diameter. Compensation methods are typically utilized to apply correction procedures for these boundary effects to enable measurements closer than half the probe diameter [131], especially above 3 GHz.

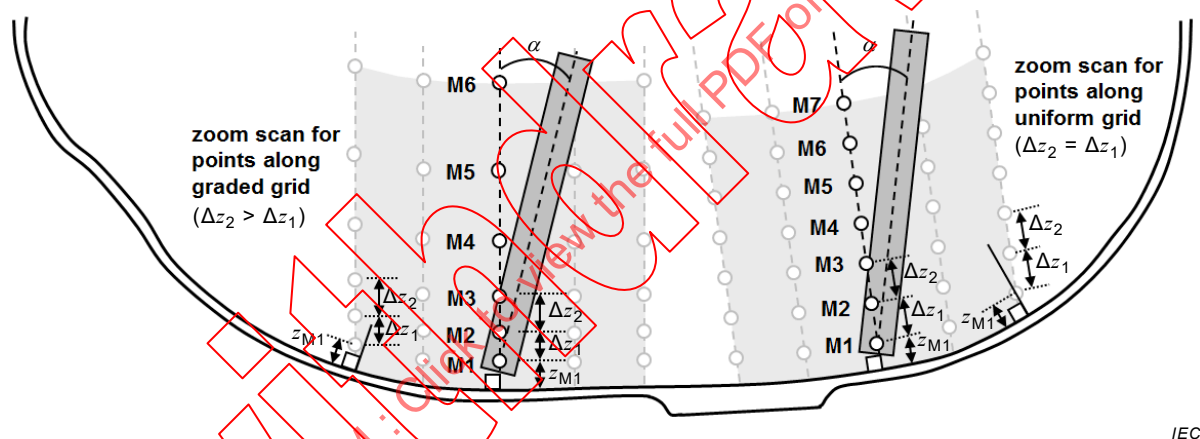
Table 1 – Area scan parameters

Parameter	DUT transmit frequency being tested	
	$f \leq 3$ GHz	$3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$
Maximum distance between the measured points (geometric centre of the sensors) and the inner phantom surface (z_{M1} in Figure 6 in mm)	5 ± 1	$\delta \ln(2)/2 \pm 0,5^a$
Maximum spacing between adjacent measured points (see 7.2.10.3.1, in mm) ^b	20 or half of the corresponding zoom scan length, whichever is smaller	$60/f$ or half of the corresponding zoom scan length, whichever is smaller
Maximum angle between the probe axis and the phantom surface normal (α in Figure 6) ^c	30°	20°
Tolerance in the probe angle	1°	1°
^a δ is the penetration depth for a plane-wave incident normally on a planar half-space. ^b See 7.2.10 on how Δx and Δy may be selected for individual area scan requirements. ^c The probe angle with respect to the phantom surface normal is restricted due to the degradation in the measurement accuracy in fields with steep spatial gradients. The measurement accuracy decreases with increasing probe angle and increasing frequency. This is the reason for the tighter probe angle restriction at frequencies above 3 GHz.		

Table 2 – Zoom scan parameters

Parameter	DUT transmit frequency being tested	
	$f \leq 3$ GHz	$3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$
Maximum distance between the closest measured points and the phantom surface (z_{M1} in Figure 6 and Table 1, in mm)	5	$\delta \ln(2)/2^a$
Maximum angle between the probe axis and the phantom surface normal (α in Figure 6)	30°	20°
Maximum spacing between measured points in the x- and y-directions (7.2.10.3.2, in mm)	8	$24/f^b$
For uniform grids: Maximum spacing between measured points in the direction normal to the phantom shell (Δz_1 in Figure 6, in mm)	5	$8 - f$

Parameter	DUT transmit frequency being tested	
	$f \leq 3 \text{ GHz}$	$3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$
For graded grids: Maximum spacing between the two closest measured points in the direction normal to the phantom shell (Δz_1 in Figure 6, in mm)	4	$12/f$
For graded grids: Maximum incremental increase in the spacing between measured points in the direction normal to the phantom shell ($R_z = \Delta z_2/\Delta z_1$ in Figure 6)	1,5	1,5
Minimum edge length of the zoom scan volume in the x- and y-directions (L_z in 7.2.10.3.2, in mm)	30	22
Minimum edge length of the zoom scan volume in the direction normal to the phantom shell (L_h in 7.2.10.3.2, in mm)	30	22
Tolerance in the probe angle	1°	1°
^a δ is the penetration depth for a plane-wave incident normally on a planar half-space. ^b This is the maximum spacing allowed, which may not work for all circumstances.		



NOTE M1 to M7 are example measurement points used for extrapolation to the surface. The maximum of the angle α between the evaluation axis and the surface normal line is given in Table 1 and Table 2. The distance z_{M1} is from the phantom shell to the first measurement point M1, and its maximum value is given in Table 1 and Table 2. The distances Δz_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) are the distances from measurement points M_i to M_{i+1} . For uniform grids, Δz_i are equal. For graded grids, $\Delta z_{i+1} > \Delta z_i$. $R_z = \Delta z_{i+1}/\Delta z_i$ is a ratio with a maximum value given in Table 2.

Figure 6 – Orientation of the probe with respect to the line normal to the phantom surface, shown at two different locations

6.4.3 SAR measurements of handsets with multiple antennas or multiple transmitters

6.4.3.1 General

Handsets with multiple antennas or multiple transmitters (with single or multiple antennas) transmitting simultaneously require special test considerations. The methods to combine the fields in order to determine the combined SAR distribution differ depending on whether the corresponding RF transmitters emit waveforms that are correlated or uncorrelated in time. The field summation method and the associated measurement instrumentation requirements for correlated signal waveforms are different from those for uncorrelated signals (see IEC TR 62630) [62].

6.4.3.2 SAR measurements for non-correlated signals

6.4.3.2.1 General requirements

The following procedures are applicable to devices incorporating multiple operating modes that are intended to operate simultaneously using:

- a) multiple frequencies (f_1 , f_2 , etc.) that are separated by more than the valid frequency range of the probe calibration or the tissue equivalent liquid, whichever is the smallest (i.e. when the SAR cannot normally be assessed simultaneously using the same probe and liquid);

The valid frequency range of probe calibration is typically narrow (e.g. ± 50 MHz to ± 100 MHz) for electric field probes in most systems currently in use. Also, since electric field probes used in present systems typically have a DC voltage at the output, the probe cannot distinguish between signals at different frequencies. The valid frequency range of the tissue equivalent liquid refers to the frequency range over which the dielectric parameters are within tolerance of the target values (see Table A.3 and [33]). Due to these limitations, the SAR values shall first be assessed separately then combined arithmetically.

- b) multiple antennas that transmit using different modulations (e.g. a voice call using CDMA and data using Wi-Fi) in the same valid frequency range of both the probe calibration and tissue equivalent liquid.

In the case of multiple antennas transmitting different modulations in the same frequency range, measurements shall be made with both signals transmitting simultaneously. However, this is not necessary if the peak spatial average values are added as described in Alternative 1 below (6.4.3.2.2, since that method provides a conservative overestimate of the combined SAR). For the case of multiple antennas transmitting correlated signals (e.g. certain MIMO configurations), refer to 6.4.3.3.

In 6.4.3, a test combination is defined as a particular combination of device position (left cheek, right tilt, etc.), configuration (e.g. antenna position) and accessory (battery). Subclauses 6.4.3.2.2 to 6.4.3.2.5 describe alternative evaluation procedures for simultaneous transmission in different frequency bands. The following prerequisites apply for the alternative methods.

- The area scan, zoom scan and peak spatial-average SAR are evaluated separately at each frequency (as per 6.4.2) with the transmission at that frequency turned on and transmission at the other frequencies turned off.
- The SAR data from different frequencies or antennas are combined together only when the test combination is the same for those frequency bands or antennas, and if that test combination is an intended test combination for simultaneous operation (see below).

Different alternative methods may be used for different test combinations. The alternatives are summarized as follows.

- Alternative 1: Summation of peak spatial-average SAR values – simplest but most conservative method to find upper bound; always applicable (6.4.3.2.2).
- Alternative 2: Selection of the highest assessed peak spatial-average SAR value – simple method; applicable under some circumstances (6.4.3.2.3).
- Alternative 3: Calculation of combined volumetric SAR from existing area and/or zoom scans – accurate and fast method; always applicable (6.4.3.2.4).
- Alternative 4: Volumetric scanning – most accurate method; always applicable (6.4.3.2.5).

The DUT measurement is deemed to fully comply with the requirements of this Standard if it meets the requirements of one of these alternative evaluation procedures.

Alternative 1 is the most conservative and computationally simple and it requires no additional SAR measurement. Alternatives 2 and 3 successively reduce the degree of over-estimation,

but require greater computation and test analysis. Alternative 4 provides the least overestimation and requires the most effort.

6.4.3.2.2 Alternative 1: Evaluation by summation of peak spatial-average SAR values

This procedure is applied to determine the upper limit of the combined SAR in a conservative way when the same maximum output power of each transmitter or antenna is used for both standalone and simultaneous transmission. Note that the different peak spatial-average SAR values being summed can be at different spatial locations. This procedure will overestimate the combined SAR in this case. This procedure is always applicable. The following procedures shall be applied using full SAR measurements that comply with all of the normative requirements of this standard. Fast SAR measurements may be used to identify the highest SAR test conditions for each frequency band as described in 6.6.

- a) For a test combination where simultaneous operation is intended, add the peak spatial-average SAR values for each antenna and frequency band where simultaneous operation is intended (see NOTE 1, NOTE 2 and NOTE 3 below).
- b) Check if the maximum summed SAR value is within 3 dB of the applicable SAR limit. If so, ensure that all of the required test frequency channels in 6.2.5 have been measured in all frequency bands and for all antennas at which simultaneous operation is intended and repeat Step a).
- c) The maximum summed SAR value in Steps a) and b) is the combined SAR.

NOTE 1 The SAR value at each frequency band corresponds to the frequency channel tested in that band at which the measured peak spatial-average SAR is the highest. In 6.2.5 the appropriate subset of frequencies to be measured for each frequency band is specified, and procedures for measuring at fewer frequencies than this subset is provided in 6.3. For example, if the SAR has been measured at the lowest, middle and highest channels in a band and the highest SAR is at the lowest frequency channel, the peak-spatial average SAR at the lowest frequency channel is used as the SAR value for that frequency band. If only the SAR at the middle frequency channel has been measured as per the procedures in 6.3, then the peak spatial-average SAR at the middle frequency channel is used as the SAR value for that frequency band.

NOTE 2 An acceptable variation of Step a) is to add the highest peak spatial-average SAR values applicable to all simultaneous transmission combinations regardless of test condition. In other words, the highest peak spatial-average SAR for one frequency band (among all test conditions at that frequency band) is added to the highest peak spatial-average SAR value at the other frequency band (among all test conditions), and so on for the other frequency bands where simultaneous operation is intended. Each of the test combinations that is considered using this method is then evaluated in Steps b) and c). This method is more conservative than the method of Step a).

NOTE 3 Having identified the maximum SAR test configuration, it is acceptable to conduct volumetric scanning on that configuration according to 6.4.3.2.5 to obtain a more accurate estimate of the maximum combined SAR.

6.4.3.2.3 Alternative 2: Evaluation by selection of highest assessed maximum peak spatial-average SAR values

This procedure gives an estimate of the multi-band SAR when the separately measured zoom scan SAR distributions have little or no overlap. The maxima are then separated to such an extent that the maximum peak spatial-average SAR value of each distribution would not increase by more than 5 % when the SAR distributions from all the other simultaneous operating modes are added. This alternative is only applicable if the highest peak spatial-average SAR is less than 70 % of the compliance limit, as calculated from the zoom scans at each frequency. This procedure shall be applied using full SAR measurements that comply with all normative requirements of this Standard.

- a) Measure the peak spatial-average SAR at each frequency separately according to 6.4.2. The area scan shall be performed in the same plane at each frequency. The distance z_{M1} for all area scans shall be less than or equal to the smallest z_{M1} value defined in Table 2 for the frequencies of interest. The probe tip diameter shall comply with the requirements of 5.1 at all of the frequencies of interest and it shall comply with the calibration requirements in this Standard.
- b) The separate area scans shall be interpolated such that the overlapping area has the same grid. The resolution of the interpolated grid shall be 1 mm or better. Find the peak value in each of the area scans. The overlapping area shall contain all SAR peaks.

- c) For all measured area scans, create a new SAR distribution by adding the interpolated area scans spatially, i.e. point-by-point.
- d) If the peak value in the new SAR distribution created in Step c) does not exceed the highest of the separate maximum peak SAR values found in Step b) by more than 5 %, then the multi-band SAR is selected as the highest of the separate peak spatial-average SAR values calculated from the zoom scan, as calculated in Step a).

The uncertainty according to 7.3 shall be assessed, documented and recorded.

6.4.3.2.4 Alternative 3: Evaluation by calculated volumetric SAR data

This procedure uses existing area and zoom scans (or specific 3D scans covering the area scan region) in combination with interpolation and extrapolation for generation of volumetric SAR data and is a rapid way of obtaining the combined SAR. It is always applicable. This procedure shall be applied using full SAR measurements that comply with all of the normative requirements of this Standard.

- a) For a test combination where simultaneous operation is intended, calculate the volumetric SAR distribution over a region corresponding to the area scan for each frequency band where simultaneous operation is intended. Different algorithms to accomplish this have been presented in [9], [80], [101], [102], [103]. The uncertainty of the method used shall be well documented according to the procedures in 7.2.10 and shall be recorded.
- b) Add the volumetric SAR distributions of all frequency bands spatially, using interpolation according to 6.5.1. For each frequency band where simultaneous operation is intended, this step shall be performed for each measured frequency channel according to the requirements of 6.2.5 and the procedures of 6.3 (see NOTE 1 of 6.4.3.2.2).
- c) Use post-processing procedures defined in 6.5 and Annex C to determine the peak spatial-average SAR values from the SAR distributions of Step b).
- d) Check if the maximum peak spatial-average SAR value is within 3 dB of the compliance limit. If so, ensure that all of the required test frequency channels in 6.2.5 have been measured in all frequency bands at which simultaneous operation is intended, and repeat Steps a) to c).

6.4.3.2.5 Alternative 4: Evaluation by volumetric scanning

This procedure is the most accurate way of assessing the combined SAR and is always applicable. As stated above, the SAR data are combined for each test condition (device position, configuration and accessory) where simultaneous transmission is intended. This procedure shall be applied using full SAR measurements that comply with all of the normative requirements of this Standard.

- a) For a test combination where simultaneous operation is intended, ensure that the zoom scan has been measured according to 6.4.2 at all test frequency channels specified in 6.2.5 (see NOTE 1 of 6.4.3.2.2) for each frequency band at which simultaneous operation is intended.
- b) For each frequency band of Step a), select the frequency channel having the highest peak spatial-average SAR.
- c) Determine a volumetric grid that encompasses the zoom scans at the test frequencies determined in Step b) over all of the frequency bands at which simultaneous operation is intended. If the zoom scans at frequencies f_1 , f_2 , etc. are so far apart that the volumetric grid is very large, resulting in very long measurement times, an acceptable variation of this is to identify all zoom scan locations for each frequency channel in Step b) and apply the alternative procedure in Step d).
- d) At each frequency channel determined in Step b), measure the volumetric grid found in Step c). This volumetric grid measurement adheres to all of the requirements of 6.4.2, Steps d) and e) except that the volumetric grid is larger than the zoom scan. If it was decided in Step c) to use zoom scan locations instead of volumetric grid, then at each frequency channel determined in Step b), measure the zoom scan for the other frequencies at exactly the same locations as for each previously measured zoom scan in

Step a). The measurement is conducted with the operating mode at that frequency turned on and the operating modes at the other frequencies turned off.

- e) Add the SAR distributions obtained in Step d) spatially to obtain a summed SAR distribution. Calculate the maximum combined SAR from the summed distribution, using the post-processing procedures (interpolation, extrapolation and averaging) defined in 6.5 to determine the peak spatial-average SAR. When volumetric scans are performed for each frequency, these shall be summed and the maximum peak is determined based on the total distribution. In case only zoom scans are performed in Step d), the zoom scans at each peak location in each frequency band are combined and the highest one is identified to compute peak spatial-average SAR.

The tested device should be fixed on the phantom when the liquids are changed so that the summation of the SAR distributions is as accurate as possible. If the battery of the device needs to be recharged, the charger cable shall be attached to the DUT when it remains positioned on the phantom. The cable shall be attached only during the battery charging between SAR measurements and shall be detached during testing.

6.4.3.2.6 Example calculation of the combined SAR using Alternative 1

Subclause 6.4.3.2.6 describes an example of the application of the summation of peak spatial-average SAR values method (Alternative 1). Subclause 6.4.3.2.6 is for illustrative purposes only. Table 3 shows an example of a wireless handset having two antennas and four operating modes, where 10 g peak spatial-average SAR values from single-band measurements are shown in the third column and third row for the four operating modes and antennas. The cells to the bottom and right of these values show the combined SAR values. Only those cells that are not grey are applicable and evaluated for this example. The four operating modes consist of two voice modes and two data modes, each in two frequency bands. The 10 g peak spatial-average SAR values have all been measured at the centre channel of the respective frequency bands for single-band operation (one operating mode and antenna is transmitting while the other band and antenna are switched off). The SAR values are shown in the third row for Antenna 1 and in the third column for Antenna 2. The combined SAR values are computed using Alternative 1 (i.e. simple summation of the 10 g peak spatial-average SAR values in Row 3 and Column 3). For this example, the handset supports only one voice mode at a time, and one data mode at a time, and it supports simultaneous transmission of voice and data. Therefore, a voice mode is not combined with another voice mode, for example. Also, SAR measurements on the left side of the head are not combined with SAR measurements on the right side. However, it is intended for this example that the two antennas could transmit simultaneously.

Table 3 – Example method to determine the combined SAR value using Alternative 1

			Antenna 1		Voice Band 1		Voice Band 2		Data Band 1		Data Band 2	
					Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
			Antenna 2		0,285	0,250	0,333	0,315	0,512	0,489	0,593	0,574
Voice Band 1	Left	0,141							0,653		0,734	
	Right	0,120								0,609		0,694
Voice Band 2	Left	0,131							0,643		0,724	
	Right	0,130								0,619		0,704
Data Band 1	Left	0,220	0,505			0,553						
	Right	0,213		0,463			0,528					
Data Band 2	Left	0,225	0,510			0,558						
	Right	0,216		0,466			0,531					

6.4.3.3 SAR measurements for correlated signals

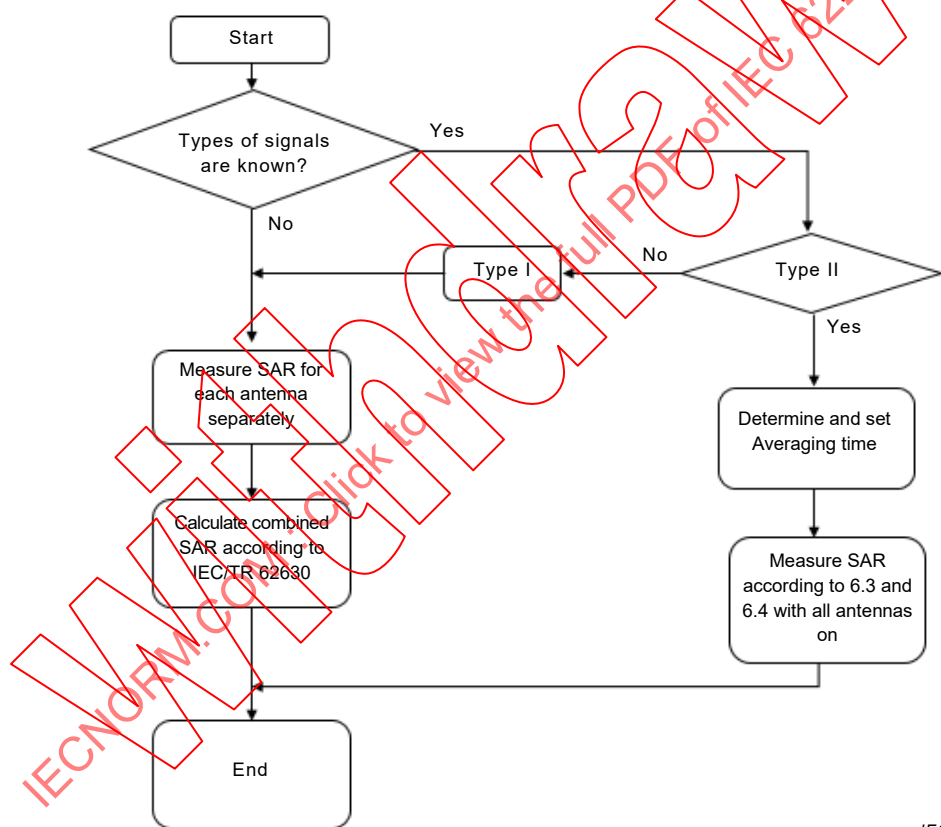
Handsets with multiple antennas transmitting correlated signals simultaneously represent a particular case of devices such as MIMO transmitters with digital beam-forming capabilities and require special test considerations. Signals of such handsets can be classified based on the change of relative phases in a normal communication. In general, there are two types of signals that can be found in the most recent generation of multi-antenna transmitters. The first, referred to as Type 1, are signals with relative phases unchanged for a relatively long duration compared with symbol duration. This type of signals can be found in phased array antenna systems where the relative phases of signals fed to the antennas are controlled to form the radiation pattern of the array antenna toward a certain direction. In different operating environments, the relative phases may change to obtain different desired radiation patterns. Thus, as soon as the transmitting direction is determined and the pattern is formed, the relative phases will be fixed for a certain duration, and will only change when the radiation pattern is configured to another form. In fact, the duration that relative phases are kept unchanged is relatively long compared with the duration of a symbol in normal communication. On the other hand, the second type of signals, referred to herein as Type 2, are signals with relative phases that vary quickly over a relatively short period. Such signals can be found in systems utilizing MIMO techniques. Relative phases of signals will be changed from symbol to symbol due to the function of space-time block code (STBC) in the MIMO schemes. The relative phases of signals are changed from symbol to symbol according to the STBC coding, and beam-forming is not used during normal communication.

As explained in IEC TR 62630 [62], correlated signals can only be transmitted at the same carrier frequency and SAR depends on the relative phase(s) between the signals. Therefore the peak spatial-average SAR cannot be precisely evaluated using scalar E-field probes from one measurement with transmitters set to fixed relative phase condition if those phases are subject to change during the normal operation of the device. Instead, for precise SAR evaluation, repeated measurements corresponding to all phase combinations between the transmitters are needed. This is a rather time-consuming evaluation and may not be practical unless certain SAR systems are used which enable fast SAR scans combined with the software control of DUT to cycle through all possible phase combinations of the signals transmitted simultaneously at their highest time-averaged output powers. In general, it is also possible to accurately evaluate peak spatial-average SAR of each individual transmitter transmitting separately at the highest time-averaged output power using single SAR measurement. However, this requires complex vector E-field measurements (i.e. measurements of magnitude and phase of all three E-field components) and is therefore less practical.

The alternative method that takes advantage of the conventional SAR systems is based on SAR measurements for each transmitter transmitting separately at the highest time-averaged output power and combining the individual SAR results as described in IEC TR 62630 [62]. This approach leads to much faster SAR measurement but provides only an upper bound of the SAR, therefore potentially overestimating the results. IEC TR 62630 describes two methods of combining the SAR from individual measurements using the conventional scalar E-field probes. The first method is based on combination of the magnitudes of individual E-field values and the second is based on magnitudes of the individual E-field components. These two methods can be implemented using conventional SAR measurement systems and require only a limited number of SAR scans equal to the number of transmitters. The second approach based on combination of the individual E-field components should be used since it leads to a lesser degree of potential SAR overestimation and many SAR systems readily provide the required input data for post-processing described in [62]. The measurement procedure for different types of correlated signals is described in Figure 7. For the Type 1 signal in the aforementioned classification or unspecified signals, the second approach based on a combination of the individual E-field components should be used, which leads to a lesser degree of potential SAR overestimation and many SAR systems readily provide the required input data for post-processing described in [62]. For the Type 2 signals in the aforementioned classification, using the approach of time-averaged SAR measurements (see NOTE below) requires only the measurement procedure defined in 6.4, with the use of conventional scalar probes.

NOTE Another method is to measure time-averaged SAR in a certain averaging period using conventional SAR scalar measurement systems. This method can be only applicable to the devices generating Type 2 correlated signals. This supposes that the combination of relative phases which yields the maximum SAR does not frequently occur, and even when it does, it occurs for a very short time before being dominated by other combinations which yield lower SAR. Since SAR is determined by the electromagnetic energy absorbed in the exposed tissue-equivalent target material, introducing the time-averaging procedure is suitable for the evaluation of SAR under such rapidly fluctuating electromagnetic fields. To evaluate the time-averaged SAR from such devices, all transmitting antennas are turned on as they are in a normal communication at the same time, and instantaneous SAR values are measured at each measurement point with a sampling-time interval and averaged over a time duration appropriate for capturing the signal characteristics.

This method has the benefit of using a conventional scalar probe and, furthermore, provides measured SAR that is close to actual SAR. It also requires only one time-averaging measurement at each measurement point required by the measurement procedure in 6.4, regardless of the number of transmitting antennas. The averaging time for a multi-antenna system, however, is longer than that for a conventional single transmitting antenna case. Also, when the number of antennas increases, the averaging time would be slightly longer to obtain converged SAR, because the time-fluctuation of the instantaneous SAR increases along with the increase of the number of antennas. The averaging time also depends on the sampling rate of the probes of SAR measurement systems. It is reduced as the sampling rate is increased, and vice versa. For example, for a SAR measurement system with a measurement rate of 1 250 samples per second, the averaging time of 1 s yields that the standard deviation of the instantaneous SAR values due to multiple transmitting antennas is kept under 2 %. In such a case, total measurement uncertainty is evaluated by using the uncertainty budget in Clause 7 with typical values, and the uncertainty for multiple transmitting antennas is at the same level as that of single antenna cases (typically at 8.7 %).



IEC

Figure 7 – Measurement procedure for different types of correlated signals

6.5 Post-processing of SAR measurement data

6.5.1 Interpolation

The resolution of the measurement grid is not as fine as that required by the interpolation requirements for the area and zoom scan to compute the peak spatial-average SAR. Interpolation shall be applied to the measurement points. Examples of interpolation schemes are given in Annex C.

6.5.2 Extrapolation

The electric field probes used to measure SAR usually contain three orthogonal dipoles in close proximity and embedded in a protective cover/case. The measurement (calibration) point is situated a few millimetres from the tip of the probe and this offset shall be taken into account when identifying the position of the measured SAR. Because of probe boundary effect errors and probe sensor offset, SAR is not measured at the surface of the phantom. The measured points closest to the surface are extrapolated to estimate the highest SAR at the phantom surface. Examples of extrapolation schemes are given in Annex C.

6.5.3 Definition of the averaging volume

The averaging volume shall be in the shape of a cube with side dimension that establishes a 1 g or 10 g mass. A density of 1 000 kg/m³ shall be used to represent the head tissue density (actual phantom liquid density shall not be used). The side length of the 1 g cube shall be 10 mm, and the side length of the 10 g cube shall be 21,5 mm. The orientation of the cubical volume is given in Annex C.

6.5.4 Searching for the maxima

The cubical averaging volume shall be shifted throughout the interpolated and extrapolated zoom-scan volume at the inner surface of the phantom in the vicinity of the local maximum SAR, using considerations such as those given in Annex C. The cube with the highest peak spatial-average SAR shall not be at the edge/perimeter of the zoom-scan volume. In case it is, the zoom-scan volume shall be shifted and the measurements shall be repeated.

6.6 Fast SAR testing

6.6.1 General

Measurements using systems that fully comply with the requirements of this Standard are referred to as "full SAR" measurements. The procedures described in 6.6 apply to fast SAR methods that differ from full SAR evaluations. Fast SAR methods use special techniques, methods or algorithms, in order to decrease the measurement time. Fast SAR measurements can be used together with full SAR measurements to reduce the overall measurement time needed to evaluate a wireless device. Since fast SAR methods do not fully comply with all the normative requirements in this Standard, they can be used to assess the relative SAR levels for different test conditions, and full SAR systems are used to assess the absolute SAR levels of selected higher SAR configurations. The special techniques used by fast SAR methods are expected to introduce additional offsets and/or uncertainties which may be dependent on the operating mode (e.g. GSM, WCDMA or frequency, modulation).

NOTE The Fast SAR procedures described in 6.6 allow users of this Standard to save time required for testing. These testing alternatives are not mandatory; the user of this Standard remains free either to apply them properly according to 6.6.1 to 6.6.4 in conjunction with full SAR or to follow the standard full SAR measurement procedure described in 6.3 to 6.5.

For example, a fast SAR system using a fixed measurement resolution will have higher measurement uncertainty at higher frequencies, where the SAR distribution generally has a faster decay in the three coordinate directions (this is the reason why a smaller spacing between measurement points is required at higher frequencies, as described in 6.4.2). For this reason, full SAR measurements shall be used for the highest SAR test condition and other test conditions within a 95 % confidence level of the highest SAR test condition of the SAR limit, as determined by the fast SAR methods (see 6.6.2 or 6.6.4).

Fast SAR methods do not fall in the class of test reduction methods. Fast SAR methods generally aim to decrease the time spent to perform a single measurement (as described below) and test reduction methods aim to reduce the total number of measurements to be performed. In general, fast SAR methods are based on approximations and optimizations that are specific to each implementation. For this reason, the individual method shall be fully validated to determine its applicability for testing different wireless devices, as described in D.4.2. The valid range of frequencies, SAR distributions and SAR levels applicable to the fast

SAR method shall be documented, as described in D.4.2. The users of a fast SAR method shall perform a *system check* to demonstrate the reliability and consistency of the method, as described in D.4.3.

Fast SAR methods can be classified into two types which are discussed in 6.6 and Annex K.

The class of fast SAR methods described in 6.6 is based on measurements made by equipment that conforms to the requirements of this Standard, but special techniques are applied to improve the measurement speed. This class of methods is based on scanning and post-processing requirements of the individual fast SAR method used to reduce measurement time, with less accuracy or higher measurement uncertainty than the full SAR measurement. The fast SAR methods described in 6.6 shall comply with the following normative parts of this Standard.

- The probes used shall comply with all of the normative requirements given in this Standard, including the requirements for probe dimensions, isotropy, spatial resolution, dynamic range, linearity, operation with modulated signals and calibration. The fast SAR methods shall be used only at the frequency ranges where the probe requirements are met.
- The readout electronics shall comply with the requirements of 5.6.
- Tissue-equivalent liquids shall comply with the requirements of A.4.
- Phantoms shall comply with the requirements of 5.2 and Annex A.
- The device holder shall comply with the requirements of 5.5.
- The test conditions of the device under test shall comply with the requirements of 6.2 and 6.3. This includes the operating modes, the power levels, test frequencies, test positions against the phantom, and device test configurations.
- The SAR reference measurement and drift shall be evaluated for each measurement, as per 6.4.2.
- The number of tests to be applied to the DUT shall comply with the requirements of 6.3. The area over which the fast SAR measurement is performed shall cover at least an area larger than the projection of the handset and antenna as explained in 6.4.2.

The key difference is that these fast SAR methods aim at reducing the number of measurement points by using modified or different alternatives to the area and zoom scans described in 6.4.2. When the number of measurement points are decreased, measurement time is reduced as the SAR probe requires less mechanical movements. In particular, some of the methods only need a coarse area scan to extrapolate the volumetric data required to compute peak spatial-average SAR.

Assessment of the measurement uncertainty of the fast SAR method shall also be performed. For fast SAR methods using equipment that conforms to the requirements of this Standard, uncertainty contributions are described in 7.4. Reporting of fast SAR evaluations shall be conducted according to the requirements of Clause 8.

Several publications related to different fast SAR methods specified in 6.6 are available. However it is beyond the scope of 6.6 to produce an exhaustive list of publications. In other words, 7.4 and Clause D.4 focus on the general requirements applicable to validate and verify a fast SAR procedure for testing individual wireless devices and to determine the measurement uncertainty, rather than providing details for specific fast SAR methods. Annex K describes another class of fast SAR methods that is not based on measurements made using equipment that conforms to the requirements of this International Standard and also provides examples of how to estimate the fast SAR measurement uncertainty.

6.6.2 Fast SAR measurement procedure A

This fast SAR measurement procedure A shall be applied if the goal of the assessment is to determine the maximum SAR of a DUT.

The following steps shall be applied when using a fast SAR procedure. See Annex K for descriptions of specific examples for how this procedure is applied. Before applying this procedure, ensure that a *system check* of the fast SAR technique has been performed, using the method of D.4.3. The *system check* shall be performed within 24 h before the fast SAR measurement and on the same SAR measurement system used for the SAR evaluation. The *system check* of the full SAR method shall also be performed, as stated in Clause D.2. The *system check* for the fast SAR method and the full SAR method may be performed using the same set of measurements, as long as the requirements for both *system checks* are fulfilled.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements required in 6.3 on a chosen set of test configurations. During the fast SAR measurements, the scan region for each test configuration shall cover at least the area exposed and encompassed by the projection of the handset. The number of SAR peaks and their locations in each test configuration are determined as described in 6.4.2, Step c). The test configurations that require SAR evaluation shall be grouped separately for each frequency and modulation, even if the device has multiple frequency bands and modulations and the fast SAR method is applied to perform measurements on the N groups of test configurations. To reduce the likelihood of having to perform additional full SAR testing in Step f), fast SAR testing may be performed during Step a) at the required test frequencies of 6.2.5 when it is likely that these requirements apply.

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted $SAR_{\max, \text{fast } i}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.3; a reduced area scan as it is defined below can be used) to measure each of the N highest SAR test configurations identified in this step, denoted as $SAR_{\max, \text{full } i}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{\max, \text{full}} = \max(SAR_{\max, \text{full } i})$. It is not necessary to repeat the entire area scan during the full SAR measurement when the number of SAR peaks is already known from the fast SAR measurement; however, the positioning of the DUT is critical in the implementation of this procedure.

For the reduced area scan, all of the requirements of 6.3 apply except that the surrounding area scan grid points nearest each SAR peak shall be measured. The location of the SAR peaks determined by the fast SAR measurements can be used to optimize the number of measured points during this reduced area scan. The number of SAR peaks found during the reduced full SAR area scan and the fast SAR measurement for each test configuration shall be the same. The SAR peak locations relative to the phone between the fast and reduced full SAR area scan shall also be the same; but could be slightly different relative to the phantom coordinates (for example, the (x,y) -position of the device with respect to the SAM phantom can be slightly different within the required positioning tolerance). The minimum number of measured points surrounding a SAR peak shall be measured. The reduced area scan shall comply with the parameters defined in Table 1.

- c) From the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), choose the i -th one corresponding to $SAR_{\max, \text{full}}$ in Step b). For this i -th group, use the full SAR method according to the procedure in 6.3 (the reduced area scan as it is described in 6.6.2, Step b) can be used) to measure all other test configurations ($j = 1$ to M , where M is the number of fast SAR test configurations in the i -th group) if the condition of Formula (10) is met:

$$SAR_{\text{fast } i, j} \geq SAR_{\max, \text{fast } i} \times \left(B_{\text{fast } i} - \sqrt{B_{\text{fast } i}^2 - 1} \right) \quad (10)$$

$B_{\text{fast } i}$ is calculated according to Formula (11):

$$B_{\text{fast } i} = \frac{1}{1 - (1,64 U_{\text{fast } i})^2} \quad (11)$$

$U_{\text{fast } i}$ in Formula (11) is the measurement uncertainty of the fast SAR measurements according to 7.4, which corresponds to the standard uncertainty ($k = 1$) from the uncertainty budget of Table 14. The positioning of the DUT is critical in the implementation of this procedure. Note that Formulas (10) and (11) are derived for a 95 % confidence

interval where $SAR_{fast,i,j} \leq SAR_{max,fast,i}$. This confidence interval is given as:

$$(SAR_{max,fast,i} - SAR_{fast,i,j}) - 1,64 U_{fast,i} \sqrt{SAR_{max,fast,i}^2 + SAR_{fast,i,j}^2} \leq 0. \text{ Solving for } SAR_{fast,i,j} \text{ results in}$$

Formulas (10) and (11), where U_{fast} is the standard uncertainty and has a Gaussian distribution. The value of 1,64 is the factor for a one-sided 95 % confidence interval of a Gaussian distributed random variable.

- d) From the full SAR measurements that have been measured so far, denoted as $SAR_{full,i,j}$, choose the highest value, $SAR_{highest,full} = \max(SAR_{full,i,j})$; it includes all test configurations for all the N different frequency bands and modulations evaluated. Note that $SAR_{highest,full}$ is greater than or equal to $SAR_{max,full}$ found in Step b), depending on whether the evaluation in Step c) found higher full SAR values than Step b) did.
- e) For each i -th group of frequency bands and modulations ($i = 1$ to N) that has not been evaluated according to Step c), use the threshold of Formula (12) to determine if Step c) is needed:

$$SAR_{max,full,i} \geq SAR_{highest,full} \times \left(B_i - \sqrt{B_i^2 - 1} \right) \quad (12)$$

$SAR_{max,full,i}$ was measured in Step b), $SAR_{highest,full}$ was determined from Step d) and B_i is calculated according to Formula (13):

$$B_i = \frac{1}{1 - \left(1,64 \sqrt{U_{fast,i}^2 + U_{full,i}^2} \right)^2} \quad (13)$$

$U_{full,i}$ is the measurement uncertainty of the full SAR measurements according to Clause 7, corresponding to the standard uncertainty ($k = 1$). If Formula (12) is satisfied, Step c) shall be applied on that i -th group of test conditions. Formula (13) gives positive values for $B_{fast,i}$ (and real values for $SAR_{fast,i,j}$) when $\sqrt{U_{fast,i}^2 + U_{full,i}^2}$ is less than $1/1,64 \approx 61\%$.

Therefore, fast SAR systems are not valid for $U_{fast,i} \geq 61\%$. It should be apparent from the procedures in 6.6 that a fast SAR system will not be useful if its uncertainty approaches this value. As the uncertainty of the fast SAR system increases, there is an increasing efficiency penalty as more and more full SAR measurements are required until, when the fast SAR uncertainty is 61 % or greater, only full SAR measurements are acceptable.

NOTE Formulas (12) and (13) are derived for a 95 % confidence that the highest full SAR value in the i -th frequency band and modulation ($SAR_{max,full,i}$) is below $SAR_{highest,full}$. These formulas are very similar to Formulas (10) and (11). The main difference is that the root-sum-squared of $U_{fast,i}$ and $U_{full,i}$ is used in Formula (13) to apply the total uncertainty when comparing $SAR_{max,full,i}$ and $SAR_{highest,full}$. The uncertainty $U_{full,i}$ is applied because both SAR values have been measured by the full SAR method, and the uncertainty $U_{fast,i}$ is applied because both SAR values have been selected as the highest SAR values in their respective frequency bands and modulations based on fast SAR measurements. In other words, there is an uncertainty ($U_{fast,i}$) in the measured fast SAR values ($SAR_{max,fast,i}$) that were used in Step b) to select which full SAR measurements to perform, and there is an uncertainty ($U_{full,i}$) in the full SAR measurements.

- f) Use the full SAR method to measure any other test configurations that have not been tested by the fast SAR method in Step a) and are not excluded from testing by this Standard or by applicable national regulations. This includes ensuring that the requirements of 6.3, Step 2) are met regarding testing of all required frequency bands and frequency channels across the applicable frequency band using the procedure of 6.6.3.

6.6.3 Fast SAR testing of required frequency bands

If fast SAR procedures of 6.6.2 are applied, a procedure to ensure that all of the required frequency bands and frequency channels of 6.3 have been tested is to apply the following steps. Note that the positioning of the DUT is critical in the implementation of this procedure.

- a) Identify all test configurations where fast SAR measurements were made at the channel that is closest to the centre of the transmit frequency band and where testing across the applicable frequency band has not been conducted.

- b) Group all of the test configurations found in Step a) together, regardless of frequency band or modulation, and sort them in descending order according to the ratio $R_k = SAR_{fast\ k} / SAR_{limit}$ (where SAR_{limit} is the applicable SAR limit for that test configuration).
- c) Perform full SAR measurements (according to the procedure in 6.4.2, a reduced area scan as it is defined in 6.6.2, Step b) can be used) on each test configuration identified in Step b) in the sequence $k = 1, 2, 3$, etc. (unless this measurement has been conducted already) when the k -th configuration to be measured meets the condition of Formula (14):

$$SAR_{fast\ k} \geq R_{min} \times \frac{SAR_{limit}}{2} \times \left(B_{fast} - \sqrt{B_{fast}^2 - 1} \right) \quad (14)$$

where R_{min} is the minimum of all available fast SAR and corresponding full SAR measurement results ratios $R_{min} = \min\{SAR_{fast\ k} / SAR_{full\ k}\}$, $B_{fast} = 1 / \left[1 - (1.64 \max(U_{fast\ i}))^2 \right]$. In

other words, B_{fast} is the smallest of the $B_{fast\ i}$ values in Formula (11) over all considered frequency bands (i.e. the one having the highest uncertainty $U_{fast\ i}$).

- d) For all test configurations where SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit in Step c), measure the SAR at all of the required test frequencies in 6.2.5. Either a fast SAR method or the full SAR method may be used for this purpose.
- e) If a fast SAR method was used in Step d), apply Step e) of 6.6.2 for all frequency bands and frequency channels and modulations to check if full SAR measurements are required for those test configurations.

6.6.4 Fast SAR measurement procedure B

This fast SAR measurement procedure B can be applied if the main goal of the assessment is to demonstrate compliance of the DUT against the applicable SAR limit when the accurate determination of highest SAR is required.

The following steps shall be applied when using a fast SAR procedure. Before applying this procedure, ensure that a *system check* of the fast SAR technique has been performed, using the method of D.4.3. The *system check* shall be performed within 24 h before the fast SAR measurement and on the same SAR measurement system that is used for the SAR evaluation of the handset under test.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements required in 6.3 on all available test configurations, unless they are excluded from testing by this Standard or by applicable national regulations. This includes ensuring that the requirements of 6.3, Step 2) are met regarding testing of all required frequencies across the applicable frequency band using the procedure of 6.6.3. The test configurations shall be grouped separately per the N different frequency bands and modulations evaluated.

NOTE The fast SAR procedure can be used for some or all the frequency bands and modulations.

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted as $SAR_{max, fast\ i}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure each of the N test configurations identified in this step, denoted as $SAR_{max, full\ i}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{max, full} = \max(SAR_{max, full\ i})$.
- c) For all of the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure all other test configurations $\{i, j\}$ ($j = 1$ to M , where M is the number of fast SAR test configurations in the i -th group) at the channel giving highest fast SAR result if the condition of Formula (15) is met:

$$SAR_{fast\ i, j} \geq SAR_{limit} \times \left(B_{fast\ i} - \sqrt{B_{fast\ i}^2 - 1} \right) \quad (15)$$

$B_{fast\ i}$ is calculated according to Formula (11).

$U_{\text{fast } i}$ in Formula (11) is the measurement uncertainty of the fast SAR measurements according to 7.4, corresponding to the standard uncertainty ($k = 1$) from the uncertainty budget of Table 14.

NOTE 1 Formulas (11) and (15) are derived for a 95 % confidence interval where $SAR_{\text{fast},j} \leq SAR_{\text{limit}}$. This confidence interval is given as: $(SAR_{\text{limit}} - SAR_{\text{fast},j}) - 1,64 U_{\text{fast},j} \sqrt{SAR_{\text{limit}}^2 + SAR_{\text{fast},j}^2} \leq 0$. Solving for $SAR_{\text{fast},j}$ results in Formulas (11) and (15), where $U_{\text{fast } i}$ is the standard uncertainty and has a Gaussian distribution. The value of 1,64 is the factor for a one-sided 95 % confidence interval of a Gaussian distributed random variable.

NOTE 2 Full SAR testing can be limited to the channel giving highest fast SAR result only when relative SAR distributions between channels are identical. Otherwise full SAR testing for all channels is needed. In some specific cases (e.g. narrowband signals), a visual comparison of SAR measurement plots for different channels may be applied to ensure that the SAR distributions are identical.

- d) For all the full SAR measurements conducted in Steps b) and c), calculate and record the $R_{i,j}$ according to Formula (16):

$$R_{i,j} = \frac{|SAR_{\text{fast},i,j} - SAR_{\text{full},i,j}|}{SAR_{\text{full},i,j}} \quad (16)$$

For any $R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$, perform full SAR measurements for the other test configurations in that frequency band and modulation $\{i\}$, where the test channel for each test configuration shall be the channel having the highest fast SAR result for that test configuration (the test channel may differ for each test configuration). The fast SAR result shall be re-measured with full SAR, unless a full SAR measurement has already been performed in a previous step. Note that some test configurations may only have one fast SAR result available, which shall be interpreted as the highest result.

- e) If $R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$ for any of the measurements conducted in Steps b) to d) where SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, perform full SAR measurements for the remaining required test channels in 6.2.5 for the frequency band/modulation and test position combination $\{i,j\}$. In addition, for all remaining test configurations where $R_{i,j} < U_{\text{fast } i}$ and SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, measure the SAR at all of the required test channels using either a fast SAR or full SAR method. If fast SAR method is used, Steps c) and d) shall be repeated for the new fast SAR value(s) to ensure all necessary full SAR measurements are conducted.
- f) From the full SAR measurements that have been measured in Steps b), c), d) and e) denoted as $SAR_{\text{full},i,j}$, choose the highest value, $SAR_{\text{highest,full}} = \max(SAR_{\text{full},i,j})$; it includes all test configurations in the i -th group, for all the N different frequency bands and modulations evaluated.

NOTE $SAR_{\text{highest,full}}$ is greater than or equal to $SAR_{\text{max,full}}$ found in Step b), depending on whether the evaluation in Step c), d) or e) found higher full SAR values than Step b) did.

The flowchart in Figure 8 describes the fast SAR measurement procedure B.

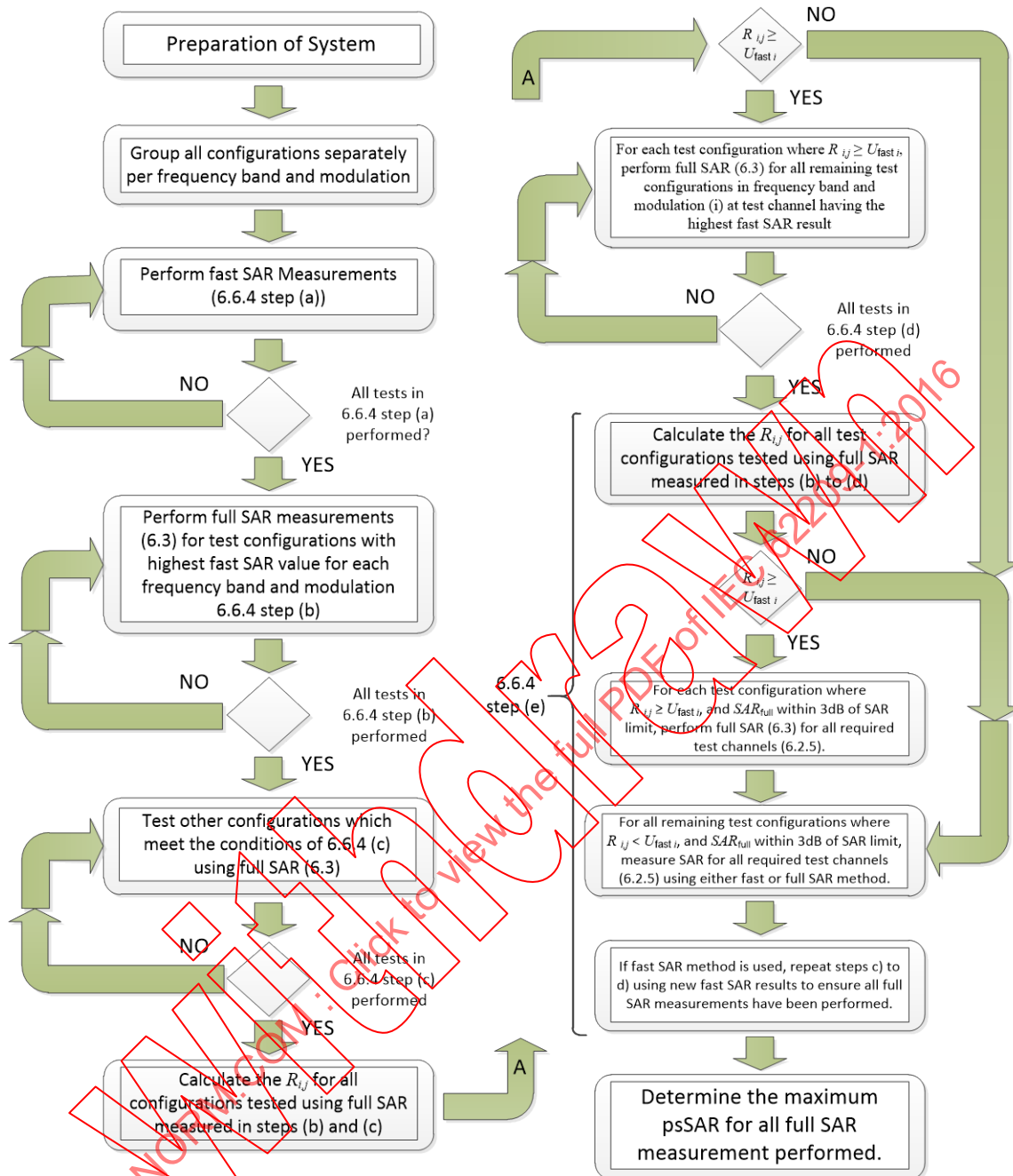


Figure 8 – The Fast SAR measurement procedure B.

6.7 SAR test reduction

6.7.1 General requirements

The number of SAR measurement tests required to identify the configuration giving the maximum peak spatial-average SAR for a DUT capable of transmitting in several bands and with different usage configurations can be large. This is also the case if the DUT can be used with different accessories. The total measurement time required to test a personal wireless communication device can be reduced by using fast measurement techniques that reduces the measurement time for each test or by directly reducing the number of tests to be conducted. The first approach is described in 6.6 and the second approach is described in 6.7. Combining test reduction techniques with fast SAR measurements requires further investigation which will be considered in subsequent revisions of this Standard. SAR test reduction methods applied during testing shall be reported as described in 8.2, Step f).

In 6.7, alternative approaches for reducing the number of test are presented. These approaches are:

- test reduction for different operating modes at the same test frequency band using the same wireless technology;
- test reduction based on characteristics of the DUT design;
- test reduction based on peak SAR level analysis;
- test reduction based on simultaneous multi-band transmission considerations

Full SAR measurements shall be applied to evaluate each of the test reduction approaches.

NOTE 1 For example GSM, GPRS and EDGE (all using GMSK modulation) are considered to be the same wireless technology, but GSM and UMTS are not considered the same wireless technology.

NOTE 2 The SAR test reduction procedures described in 6.7 allow users of this Standard to save time required for testing. These testing alternatives are not mandatory; the user of this Standard remains free either to apply them or to follow the standard full SAR measurement procedure described in 6.1 to 6.5.

6.7.2 Test reduction for different operating modes in the same frequency band using the same wireless technology

If different operating modes (mod_X , mod_Y , etc.) work at the same frequency band, procedures may be employed in some cases to reduce the number of measurements for the lower power operating modes (mod_Y , etc.) without compromising the stringency of the test for maximum exposure. The procedures may be applied if the following conditions are met.

- a) The same RF amplifier stage is used for mod_X and mod_Y .
- b) The same antenna is used for mod_X and mod_Y .
- c) No MIMO (multiple-input and multiple-output) techniques are applied for both mod_X and mod_Y .
- d) The same wireless technology is used for mod_X and mod_Y .
- e) Either the same signal modulation is used and this modulation has constant amplitude or the time-averaged output power of mod_Y is at least 2 dB below the output power of mod_X .
- f) The SAR probe calibration is valid for both mod_X and mod_Y (i.e. the probe calibration certificate defines the validity and uncertainty of the calibration applicable to both mod_X and mod_Y).
- g) The same SAR measurement system (probe, phantom, liquid, electronics) is used for all operating modes.
- h) The RF carrier frequency of mod_X is the same as for mod_Y .
- i) The channel bandwidth ratio (R_m) of mod_X and mod_Y satisfies Formula (17):

$$R_m = \left| \frac{BW_{mod_Y}}{BW_{mod_X}} - 1 \right| \leq 0,3 \quad (17)$$

To reduce the number of tests required, the following procedure may be applied if all of the above conditions are met:

NOTE Both GSM and GPRS use GMSK, which is a constant amplitude modulation; therefore, the maximum time-averaged output power with respect to the maximum number of time slots used in each operating mode can be used to determine the most conservative operating mode for SAR testing. Similarly, EGPRS (which uses GMSK and 8PSK) can be included with GSM and GPRS in this determination of the most conservative operating mode for SAR testing due to its innate similarities to GSM and GPRS. On the other hand, WiMAX uses OFDMA with high peak-to-average power ratio where the SAR measurement error is expected to vary with power.

- Step 1 Test all operating modes (mod_X , mod_Y , etc.) in any one of the standard test configurations (e.g. left ear, touch position).
- Step 2 Fully test in all standard test configurations for the operating mode that had the highest SAR value in Step 1.

- Step 3 Fully test in all standard test configurations all other operating modes evaluated in Step 1 for which both of the following conditions apply:
- the SAR measured in Step 1 for the operating mode under consideration is within 15 % of the SAR value measured in Step 1 of the highest SAR operating mode (i.e. the operating mode chosen for use in Step 2), and
 - the highest SAR in Step 2 is within 15 % of the applicable SAR limit.

The 15 % margin corresponds approximately to half the maximum expanded measurement uncertainty of 7.3.2.

6.7.3 Test reduction based on characteristics of DUT design

There is a wide range of different designs of mobile phones on the market. The SAR data analysis in Clause L.2 has shown that the following test reduction and exclusion principles can be applied for mobile phones with internally mounted antennas and operating frequencies between 800 MHz and 2 GHz. These criteria are based on the antenna locations within a handset and the variations in handset styles. An extension above 2 GHz would be considered if further supporting data becomes available.

For DUT with a bottom-mounted internal antenna (i.e. an internal antenna mounted in the bottom half of the DUT) that is fully embedded within 2.5 cm from the bottom of the device, when the highest cheek position peak spatial-average SAR for a frequency band and operating mode is at least 3 dB from the SAR limit, testing in the tilt position is not required. For other antenna locations, when SAR measured in the tilt position using the highest SAR channel tested for the cheek position is less than or equal to 3 dB below the SAR limit, testing of the other required channels for the tilt position is not required.

The following conditions related to multiple communication modes within the same wireless technology and frequency bands shall be met to apply the test reduction procedure in 6.7.3.

- a) The same RF circuitry is used (transmitter, antenna feed-point, matching components, etc.).
- b) The same antenna and antenna grounding is used.
- c) No MIMO (multiple-input and multiple-output) techniques are applied.
- d) The same SAR measurement system (probe, phantom, liquid, electronics) is used.

When SAR is not measured at the highest maximum output power allowed for the device, regulatory requirements may require the cheek and tilt SAR to be scaled to the highest maximum output power to apply the applicable threshold for determining test reduction. To apply additional test reduction for DUT using the same bottom-mounted internal antenna for multiple communication modes within the same wireless technology and frequency bands, select the communications system with the highest maximum time-averaged output power and perform the full SAR test procedure, including all configurations and test positions specified in 6.3. Testing at tilt positions for other communication systems within this same frequency band is not required regardless of the SAR level in cheek position(s), if both of the following two conditions are met.

- 1) The cheek position has the highest peak spatial-average SAR value for a frequency band.
- 2) The peak spatial-average SAR values for the configurations in the tilt position are at least 30 % below the SAR limit.

The SAR test report shall include drawings or photos illustrating the layout and locations of antennas in the DUT and describing the wireless operating modes applicable to each antenna to support the test reduction and exclusion considered. If the test reduction related to devices with the same bottom-mounted internal antenna for multiple communication systems within the same frequency band is to be applied, the antenna and the RF and antenna matching circuitry shall be described for each communication system in the SAR test report.

Clause L.2 provides the rationale and supporting information for the analysis performed to support these test reduction and exclusion principles.

6.7.4 Test reduction based on SAR level analysis

The purpose of this test reduction approach is to eliminate the "zoom scan" session for each single measurement test (6.4.2, Step d) when the measured peak SAR from the "area scan" is below a threshold, by assuring that the maximum peak spatial-average SAR value will be:

- correctly assessed and not underestimated, especially when it could generate a peak spatial-average SAR close to the basic restriction limit;
- correctly identified, even if the "zoom scan" session is not executed.

NOTE This test reduction procedure is different from the fast SAR procedure described in 6.6. In this test reduction protocol, the decision to apply the complete measurement procedure ("full SAR measurement") is taken after looking at values measured from the area scan (not the final peak spatial-average SAR). Moreover, a threshold value is necessary since the goal is to avoid the zoom scan for some particular measurement configurations and not depend on a particular fast SAR algorithm to estimate the peak spatial-average SAR.

In Clause L.3, the rationale and studies supporting this test reduction approach are reported. These studies consider handsets operating in the GSM900/DCS1800 and UMTS I bands. The protocol described below is only applicable to the above particular operating modes and frequency bands (e.g. it does not apply to GSM850, PCS1900 or GPRS modes), and does not apply to multiple transmissions (6.4.3) compliance testing. The area scan grid spacing parameters used in the Clause L.3 studies were both (x- and y-directions) set to 10 mm, so they meet the requirements reported in this Standard. The area scans were performed at a fixed specified distance of 4 mm spacing between the probe sensors and the internal surface of the SAM phantom.

When applying the protocol described below, it is necessary:

- 1) to adjust the "area scan" parameters specified in the Table 1 to use grid spacing not larger than 10 mm;
- 2) to perform the area scans at a fixed 4 mm maximum distance between the measured points (geometric centre of the sensors) and the phantom inner surface.

The single band test reduction protocol (valid for each operating mode supported by the DUT) is described as follows.

- a) Measure the local SAR as described in 6.4.2, Step a).
- b) Perform the area scan procedure for one of the positions defined in 6.2.4, at the centre frequency of the considered band, as indicated in the complete measurement scheme described in 6.4.2.
- c) Determine the peak SAR of the area scan; this is defined as the first absolute peak SAR (APS).
- d) Perform the zoom scan, as indicated in the complete measurement scheme described in 6.4.2. Evaluate and manage the measurement drift as indicated in 6.4.2, Step f).
- e) For all the other positions and frequency channels to be tested, repeat the following Steps 1) to 5).
 - 1) Measure the local SAR as described in 6.4.2, Step a).
 - 2) Perform the area scan procedure as indicated in the complete measurement scheme described in 6.4.2, Step b).
 - 3) Evaluate the peak SAR of the area scan; if the peak SAR value of the area scan is greater than APS, determined in Step c), then APS shall be assigned to the peak SAR value of the area scan found in this Step 3), after completing Step 4).
 - 4) Perform the zoom scan required by 6.4.2 if the area scan peak SAR is not less than 1,3 W/kg (80 % of 1,6 W/kg) or if the peak SAR is greater than or equal to $TH(f) \times APS$, where the frequency-dependent threshold value $TH(f)$ is defined in Table 4 below and

APS is the absolute peak SAR. If multiple peaks (as in 6.4.2, Step c)) are required to be measured, apply this step to all the peaks.

- 5) Evaluate the measurement drift as indicated in 6.4.2, Step f). If the drift is higher than 5 %, the drift shall be addressed according to 6.4.2, Step f).

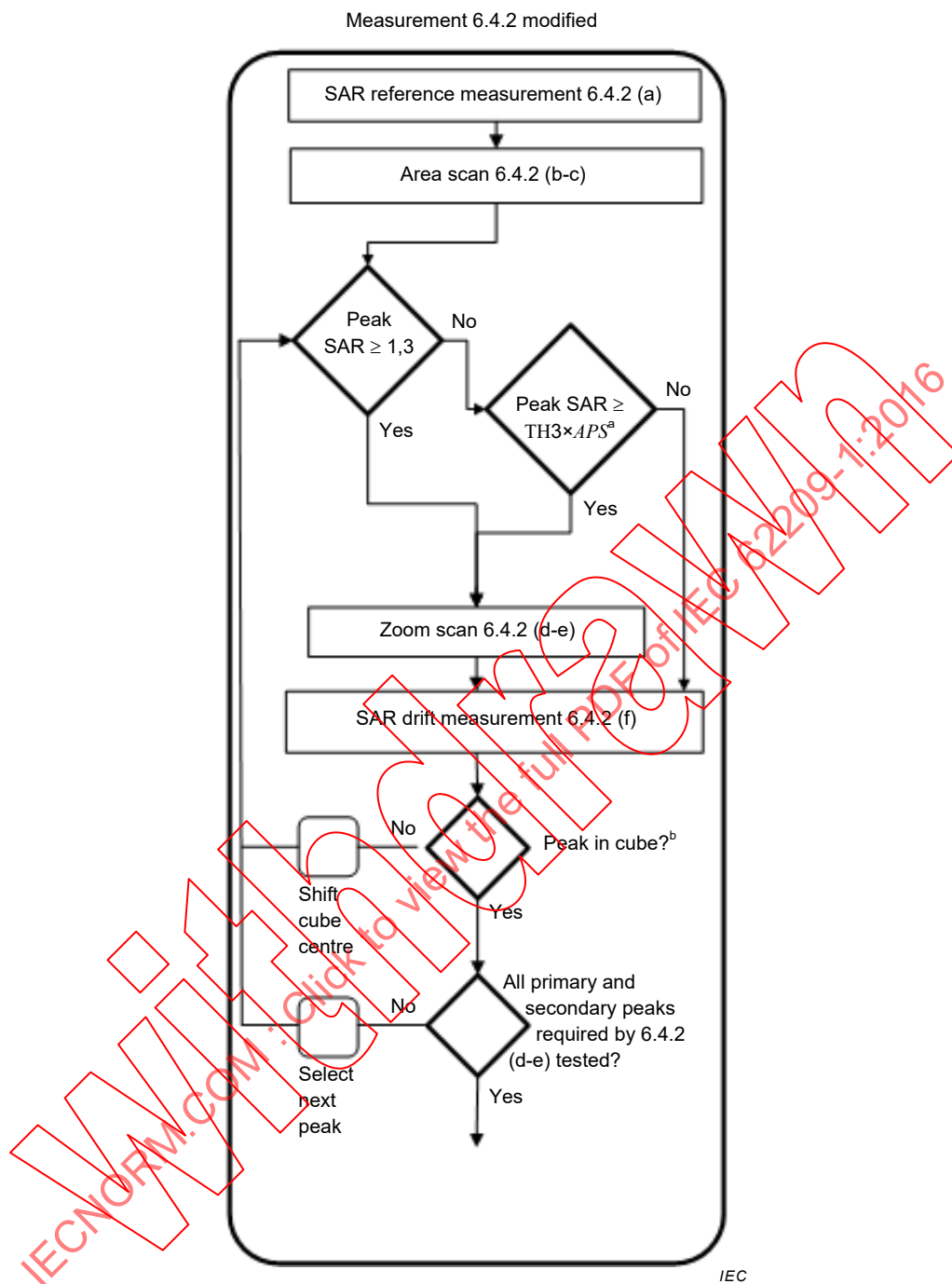
Substeps 1) to 5) of Step e) described above shall be performed sequentially for all applicable bands. The frequency-dependent threshold values used in Step e), Substep 4), are summarized in Table 4.

Table 4 – Threshold values $TH(f)$ used in this proposed test reduction protocol

Operating Mode	$TH(f)$
GSM900	0,75
UMTS VI ^a	0,75
DCS1800	0,60
UMTS IX ^a	0,60
UMTS I	0,60
^a 3GPP UMTS-FDD Band VI and Band IX have Uplink frequencies very close to GSM900 and DCS1800, respectively. Even if only devices operating in GSM900, DCS1800 and UMTS I bands were considered in Clause L.2, the above thresholds shall be applied for UMTS-FDD Band VI and for UMTS-FDD Band IX.	

When the present test reduction procedure is followed:

- The block diagram on the left of Figure 5 shall be applied.
- The block diagram on the right Figure 5 shall be applied only for the first SAR measurement. Subsequent SAR measurements shall be performed according to Figure 9, which is a modification of the procedure described in Figure 5.



^a APS = absolute peak SAR. See 6.7.4.

^b Apply this step only if zoom scan has been performed.

Figure 9 – Modified chart of 6.4.2

Clause L.3 provides the rationale for the threshold levels used in this test reduction protocol, based on the SAR spatial gradient analysis.

6.7.5 Test reduction based on simultaneous multi-band transmission considerations

Simultaneous multi-band transmission means that the device can transmit in multiple frequency bands at the same time, e.g. a WCDMA transmission at 2 GHz and a WLAN transmission at 2,45 GHz. The time-averaged output power of a secondary transmitter (i.e. the lower power transmitter, e.g. Bluetooth, WLAN) may be much lower than that of the primary transmitter (i.e. the higher power transmitter, e.g. WCDMA). In some cases, the

secondary transmitter can be excluded from SAR testing when used alone. However, when the primary and secondary transmitters are used together (simultaneous transmission), the SAR limit may still be exceeded. A means of determining the threshold power for the secondary transmitter that allows it to be excluded from SAR testing is required.

One way of determining the threshold power level for the secondary transmitter ($P_{\text{available}}$) is to calculate it from the measured peak spatial-average SAR of the primary transmitter (SAR_1) according to Formula (18):

$$P_{\text{available}} = P_{\text{max},m} \times (SAR_{\text{lim}} - SAR_1) / SAR_{\text{lim}} \quad (18)$$

where

$P_{\text{max},m}$ is the maximum threshold exclusion power level, which is calculated by $SAR_{\text{lim}} \times m$, where m is an averaging mass.

For example, an exposure limit of $SAR_{\text{lim}} = 2,0$ W/kg and an averaging mass of $m = 10$ g gives total transmitting power of $P_{\text{max},m} = 20$ mW.

For an exposure limit of $SAR_{\text{lim}} = 1,6$ W/kg and an averaging mass of $m = 1$ g give total transmitting power of $P_{\text{max},m} = 1,6$ mW.

The above formula can be easily generalized to the case where more than two transmitters are transmitting simultaneously. If there are N simultaneous transmitters and the peak spatial-average SAR of the first $N - 1$ transmitters are known (SAR_i), then the threshold power level for the N -th transmitter can be found from Formula (19):

$$P_{\text{available}} = P_{\text{max},m} \times (SAR_{\text{lim}} - \sum_{i=1}^{N-1} SAR_i) / SAR_{\text{lim}} \quad (19)$$

NOTE The applicability of power thresholds as defined in Annex B of IEC 62479:2010 to replace $P_{\text{max},m}$ in the case where (i) the DUT is measured at the SAM ear and (ii) the radiating parts of the DUT are closer than 5 mm to the phantom surface is currently under investigation. The definition of new power thresholds for such configuration is needed.

7 Uncertainty estimation

7.1 General considerations

7.1.1 Concept of uncertainty estimation

The concepts of uncertainty estimation in the measurement of the SAR from wireless devices are based on the general rules provided by ISO/IEC Guide 98-3:2008 [68]. Nevertheless, uncertainty estimation for complex measurements remains a difficult task and requires high-level and specialized engineering knowledge. In order to facilitate this task, guidelines and approximation formulas are provided in Clause 7, enabling the estimation of each individual uncertainty component. The concept is designed to provide the system uncertainty for the entire frequency range of 300 MHz to 6 GHz and for any device under test within the scope of this Standard. The uncertainty evaluation described in Clause 7 is also designed to be broadly applicable to SAR measurement systems that comply with the requirements of this Standard. However, some measurement systems may require additional uncertainty analysis. Since the uncertainties account for a broad range of devices within this scope, the uncertainty may be overestimated for some components in order not to underestimate measurement uncertainty, but allows for approximations, as provided in Clause 7.

It shall be noted that it is not sufficient to provide only Table 11 without the availability of a detailed documentation of the estimation of each influence quantity including methodology,

assessment of data for each component, as well as how the uncertainty was derived from the data set.

7.1.2 Type A and Type B evaluation

Both Type A and Type B evaluations of the standard uncertainty shall be used. The evaluation of uncertainty by the statistical analysis of a series of observations is termed a Type A evaluation of uncertainty. The evaluation of uncertainty by means other than the statistical analysis of a series of observations is termed a Type B evaluation of uncertainty. Each component of uncertainty, however evaluated, is represented by an estimated standard deviation, termed standard uncertainty, which is determined by the positive square root of the estimated variance.

When a Type A analysis is performed, the standard uncertainty u_i shall be derived using the estimated standard deviation from statistical observations. When a Type B analysis is performed, u_i comes from the upper a_+ and lower a_- limits of the quantity in question, depending on the probability distribution function defining $a = (a_+ - a_-)/2$, then:

- rectangular distribution: $u_i = a/\sqrt{3}$
- triangular distribution: $u_i = a/\sqrt{6}$
- normal distribution: $u_i = a/k$
- U-shaped (asymmetric) distribution: $u_i = a/\sqrt{2}$

where

a is the half-length of the interval set by limits of the influence quantity;

k is the coverage factor;

u_i is the standard uncertainty

Predetermined standard deviations based on a larger number of repeat tests can be used to estimate uncertainty components in cases where the system, method, configuration and conditions, etc., are representative of the specific DUT [145].

7.1.3 Degrees of freedom and coverage factor

When the degrees of freedom are less than 30, a coverage factor of two is not the appropriate multiplier to achieve a 95 % confidence level [21]. A simple but only approximately correct method is to use Student's t -distribution with t in place of the coverage factor k . Standard deviations of t -distributions are narrower than normal (Gaussian) distributions, but approach Gaussian shape for large numbers of degrees of freedom. The degrees of freedom for most standard uncertainties based on Type B evaluations can be assumed to be infinite [141]. Then the effective number of degrees of freedom of the combined standard uncertainty, u_c , will mostly depend on the degrees of freedom of the Type A contributions and their magnitude relative to the Type B contributions. The coverage factor k_p for small sample populations shall be determined by Formula (20):

$$k_p = t_p(\nu_{\text{eff}}) \quad (20)$$

where

k_p is the coverage factor for a given probability p ;

$t_p(\nu_{\text{eff}})$ is the t -distribution;

ν_{eff} is the effective number of degrees of freedom estimated using the Welch-Satterthwaite Formula:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}} \quad (21)$$

c_i is the sensitivity coefficient of each uncertainty component u_i ;

ν_i is the number of degrees of freedom for each uncertainty component u_i .

The subscript p refers to the approximate confidence level, e.g. 95 %. Tabulated values of $t_p(\nu_{\text{eff}})$ are available, for example in NIST TN1297 [121].

NOTE As an example, the combined standard uncertainty calculated using Formula (21) from all the influence quantities in Table 11 (Column h) is $u_c = 13,9$ % with assumed positioning and holder tolerances of 6,0 % and 5,0 %. From Formula (21) and Table 11, Columns f , h , and k , the effective degrees of freedom for the combined standard uncertainty is $\nu_{\text{eff}} = 136$ so $k = 2$ does apply in this case, and the expanded uncertainty is $U = 2 \times 13,9$ % = 27,8 %. For illustration of the effect of specific component variations, an extreme example is with standard uncertainties for positioning and holder variations of 22 % and 15 %, respectively, with degrees of freedom equal to five for each ($\nu_i = 5$). Then $u_c = 29,0$ %, $\nu_{\text{eff}} = 25$, $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} \approx t_{05,45} = 2,11$ [121], and the expanded uncertainty $U = 2,11 \times 29,0$ % = 61,2 %.

7.2 Components contributing to uncertainty

7.2.1 General

Each frequency-dependent uncertainty component shall be evaluated in the frequency band where SAR assessment is performed. For operating modes within a given frequency range, the uncertainty contribution is the highest value found in that frequency range.

7.2.2 Calibration of the SAR probes

7.2.2.1 General

A protocol for the evaluation of the SAR probe calibration coefficients and the uncertainty estimation is given in Annex B. The uncertainty of the probe sensitivity shall be estimated by assuming a normal probability distribution.

7.2.2.2 Probe isotropy

E-field probe isotropy is a measure of the deviation in probe response to arbitrary field polarization. In general, fields emitted by a handset are of arbitrary polarization. However, the fields induced in the tissue-equivalent liquid have a predominant polarization component parallel to the phantom surface, due to the physics of the absorption mechanism [138]. Hemispherical isotropy uncertainty ($u_{\text{hemispherical isotropy}}$) is related to arbitrary field polarization (includes axial isotropy uncertainty), and axial isotropy uncertainty ($u_{\text{axial isotropy}}$) is related to fields normal to the probe axis.

The isotropy of the probe shall be measured according to the protocol defined in Annex B. The uncertainty due to isotropy (u_{isotropy}) shall be estimated with a rectangular probability distribution given by Formula (22):

$$u_{\text{isotropy}}[\%] = 100 \times \sqrt{(1 - w_i) \times [u_{\text{axial isotropy}}]^2 + w_i \times [u_{\text{hemispherical isotropy}}]^2} \quad (22)$$

where w_i is a weighting factor to account for field incidence angles around an imaginary sphere enclosing the probe tip.

If the probe orientation is essentially normal to the surface (within $\pm 30^\circ$ when $f \leq 3$ GHz and within $\pm 20^\circ$ when $3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$) during the measurement, then $w_i = 0,5$. Otherwise, $w_i = 1$ (i.e. the hemispherical isotropy uncertainty dominates).

7.2.2.3 Probe linearity and detection limits

Since the nonlinear response of the probe does not depend on the surrounding media but only on the diode sensors, evaluation of the linearizing functions $f_i(V_i)$ for a CW signal may be done either in free space or in the tissue-equivalent liquid (for modulated signals, use the procedure described in 7.2.2.4). This is performed by a power sweep covering the specified SAR detection range or a range at least from 0,12 W/kg to 100 W/kg in steps of 3 dB or less. Small TEM cells or waveguides are preferable, since high field strengths can be produced with medium power amplifiers. The linearity uncertainty is defined as the maximum deviation in the SAR vs. power characteristic from the best-fit straight reference line going through zero ($SAR = a \cdot P$, where a is the best-fit slope of the line, using the method of least-squares) defined over the interval 0,12 W/kg to 100 W/kg. The linearity uncertainty for CW signal is determined as follows:

$$SAR_{CW} \text{ linearity uncertainty } [\%] = \max_{j \in \{x, y, z\}} \left(\max_{SAR(P_i)_{CW_j} = 0,12 \text{ W/kg}}^{SAR(P_i)_{CW_j} = 100 \text{ W/kg}} \left(100 \times \left| \frac{SAR(P_i)_{CW_j}}{P_i \cdot a} - 1 \right| \right) \right) \quad (23)$$

Here, $SAR(P_i)_{CW_j}$ is the SAR measured for a CW signal at the i -th power level, P_i . The index j refers to the field sensor for each of which the procedure shall be repeated. A rectangular probability distribution is assumed for probe linearity uncertainty in Table 11, Table 12 and Table 13.

NOTE At SAR levels as high as 100 W/kg, the liquid temperature could rise significantly, causing deviations in the dielectric parameters. To avoid this problem, care should be taken to ensure that the liquid is exposed to high SAR levels only for short periods of time.

The probe detection limit uncertainty is determined by comparing the measured SAR (SAR_{meas}) at a reference power level P_{ref} to the value of the reference SAR, $SAR_{ref} = a \cdot P_{ref}$, at the same power level, using the best-fit slope as determined above.

$$U_{\text{detection limit}} [\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{meas}}{SAR_{ref}} \right| = 100 \times \left| \frac{SAR_{meas}}{a \cdot P_{ref}} \right| \quad (24)$$

The reference power level P_{ref} shall be chosen such that the signal to noise ratio (determined at the measurement time) is 6 dB. This shall be verified using the data from the power sweep. A rectangular probability distribution shall be assumed for detection limit uncertainty in Table 11, Table 12 and Table 13.

7.2.2.4 Probe modulation response

Probe sensor responses to modulated signals that are based on diode detectors can be complex since the diodes are greatly non-linear elements. The diode response theory for complex signals was reported by Nadakuduti et al. [116]. The linearization parameters for a particular modulation should be determined by relative experimental calibration, i.e. power sweep at that particular modulation, as described in Clause B.2. The linearization parameters shall be determined for each sensor separately.

The following uncertainty can be determined by using any source (e.g. waveguide or dipole) with a set-up equivalent to the one described in Figure D.1. The signal generation set-up shall simulate the modulation for which the uncertainty is determined according to the specification of the communication system standard. The power shall be increased for probe sensor voltage equivalent to smaller than $P_0 = 0,1 \text{ W/kg}$ to the equivalent of larger than 10 W/kg for the investigated sensor in 5 dB steps. At each power level, the SAR shall be measured with the modulated signal and with CW at the same RMS power (verification that the power meter uses a true RMS detector and that the amplifier is sufficiently linear for the entire dynamic of the signal is required). This procedure shall be repeated for each field sensor.

Formula (25) is used to derive the modulation uncertainty of a particular modulation mod_x .

$$SAR_{\text{modulation uncertainty } x} [\%] = \max_{j \in \{x, y, z\}} \left(\max_{P_i = P_0}^{P_0 + 20 \text{ dB}} \left(100 \times \left| \frac{SAR(P_i)_{\text{mod } x_j}}{SAR(P_i)_{\text{cal } x_j}} - 1 \right| \right) \right) \quad (25)$$

where

$SAR_{\text{modulation uncertainty } x}$	is the uncertainty for the particular modulation mod_x in percent
$SAR(P_i)_{\text{mod } x_j}$	is the SAR measured with the modulated signal at power level P_i for sensor index j
$SAR(P_i)_{\text{cal } x_j}$	is the SAR measured with the calibrated signal at the same RMS power for sensor index j

The SAR uncertainty is determined as the maximum of all $SAR(P_i)_{\text{mod } x_j}$ at each step for all three sensors. The index j refers to the field sensor for each of which the procedure shall be repeated. A rectangular probability distribution has been assumed for probe modulation response uncertainty in Table 11, Table 12 and Table 13.

7.2.2.5 Boundary effect

The probe boundary effect introduces measurement uncertainty. For the purposes of this Standard, this uncertainty is negligible if the closest distance between the probe tip and the phantom inner surface is always larger than the probe-tip diameter.

In some cases, the probe may need to be used to measure closer than the probe tip diameter, in order to reduce interpolation and extrapolation uncertainties. Then the boundary effect uncertainty of Clause B.6 shall be assessed preferably by using the waveguide system described in B.3.2.3.3. Alternatively, the temperature method described in B.3.2.3.2 could be used below 800 MHz. The method below is valid assuming the angle between the probe axis and the surface normal line is within the requirements of Table 1 and Table 2. Since the boundary effect is a characteristic of a specific probe, it shall be determined during probe calibration (i.e. influence of the probe tip diameter). If algorithms are applied to compensate for the boundary effect, then the SAR uncertainty shall be determined with the same evaluation hardware and software as used for performing the SAR measurements. The boundary effect uncertainty can be estimated according to the following uncertainty approximation formula based on linear and exponential extrapolations between the surface and $d_{\text{be}} + d_{\text{step}}$ along lines that are approximately normal to the surface:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \Delta SAR_{\text{be}} [\%] \frac{(d_{\text{be}} + d_{\text{step}})^2}{2d_{\text{step}}} \frac{(e^{-d_{\text{be}}/(\delta/2)})}{\delta/2}, \quad (d_{\text{be}} + d_{\text{step}}) < 10 \text{ mm and } f \leq 3 \text{ GHz} \quad (26)$$

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \Delta SAR_{\text{be}} [\%] \frac{\delta}{\delta - d_{\text{be}}}, \quad d_{\text{be}} < \delta \text{ and } f > 3 \text{ GHz} \quad (27)$$

where

$SAR_{\text{uncertainty}}$	is the uncertainty in percent of the probe boundary effect;
d_{be}	is the distance between the surface and the closest measurement point;
d_{step}	is the separation distance between the first and second measurement points that are closest to the phantom surface, assuming the boundary effect at the second location is negligible;
δ	is the penetration depth of the head tissue-equivalent liquids defined in this Standard;

ΔSAR_{be} the deviation of the measured SAR value in percent, at the distance d_{be} from the boundary, from the analytical reference SAR value for waveguide systems SAR_{ref} . SAR_{ref} is calculated using Formula (B.5).

If waveguide systems are not available for certain frequency ranges, temperature probes should be used to assess the reference values SAR_{ref} at the locations d_{be} and $d_{be} + d_{step}$, and the SAR uncertainty of the temperature probe shall be accounted for. If temperature methods are used, then SAR_{ref} is the value at this location determined using the temperature probe. Note that the actual calibration shall be performed at distances between the probe tip and boundary that are larger than the probe tip diameter, where the boundary effect is negligibly small. Enter the uncertainty of the probe boundary effect in the appropriate row and column in Table 11, Table 12 and Table 13 using rectangular distribution.

7.2.2.6 Field probe readout electronics uncertainty

Field-probe readout electronics uncertainties shall be assessed for field probe readout electronics. All uncertainties related to the probe readout electronics, including the gain and linearity of the instrumentation amplifier, its loading effect on the probe, and accuracy of the signal conversion algorithm, shall be evaluated to estimate the maximum SAR uncertainty. One method to determine these uncertainty components is by replacing the probe with an equivalent source having the same source impedance as the probe under consideration according to the manufacturer's specifications for the probe. This is generally performed by the system manufacturer. Each uncertainty shall be converted to a standard uncertainty using normal probability distribution. The RSS value of these uncertainties shall then be used to determine the overall readout electronics uncertainty.

7.2.2.7 Signal step-response time uncertainty

Field-probe signal response time uncertainty is evaluated by exposing the probe to an E-field step response producing at least 100 W/kg near the phantom surface. The signal response time is evaluated as the time required by the probe and its readout electronics to reach 90 % of the expected final value produced by the step response by switching the RF power on and off. During the SAR measurement, the probe shall remain stationary at each measurement location for at least twice the assessed response time so that the probe signal response time uncertainty is negligible. Under these measurement conditions, a tolerance value of zero may be entered in the appropriate uncertainty table. Otherwise, the SAR uncertainty due to signal response-time uncertainty shall be assessed, using the signal characteristics of the test device. In this case, the signal step-response time uncertainty is equal to the percentage difference between the SAR measured at the chosen measurement time and the SAR measured at twice the chosen measurement time. A rectangular probability distribution shall be assumed.

7.2.2.8 Probe integration-time uncertainty

7.2.2.8.1 General

Probe integration-time uncertainties may arise when test devices do not emit a continuous signal. When the integration time and discrete sampling intervals used in the probe electronics are not synchronized with the pulsed characteristics of the measured signal, the RF energy at each measurement location may not be fully or correctly captured. This uncertainty shall be evaluated according to the signal characteristics of the test device prior to the SAR measurement.

7.2.2.8.2 Probe integration-time uncertainty for periodic pulsed signals

For signals with periodic pulse modulation and a pulse period greater than 1 % of the probe integration time, additional SAR uncertainty shall be considered when the probe integration time is not an exact multiple of the longest periodicity. The uncertainty shall be assessed according to the maximum uncertainty expected for unsynchronized probe integration time with an assumed rectangular probability distribution. For a signal with an envelope $s(t)$, the

average signal read by the probe during the integration time t_{int} starting at time t_0 is given by $s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})$ in Formula (28):

$$s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}) = \frac{1}{t_{\text{int}}} \int_{t_0}^{t_0+t_{\text{int}}} s(t) dt, \quad 0 \leq t_0 \leq T \quad (28)$$

Formula (28) assumes that the filtering by the probe does not significantly alter the signal envelope $s(t)$. If t_0 is not synchronized with the longest period T of $s(t)$, the probe integration-time uncertainty can be defined as shown in Formula (29):

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = 100 \times \frac{\max(s_{\text{int}}(t)) - \langle s_{\text{int}}(t) \rangle}{\langle s_{\text{int}}(t) \rangle} \quad (29)$$

Here $\langle \cdot \rangle$ denotes the average value. Formulas (28) and (29) can be used to derive the probe integration-time uncertainty of any pulsed signal.

A simple alternative formula for the uncertainty of a TDMA system is shown in Formula (30):

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = 100 \times \sum_{\text{all sub-frames}} \frac{t_{\text{frame}}}{t_{\text{int}}} \frac{\text{slot}_{\text{idle}}}{\text{slot}_{\text{total}}} \quad (30)$$

Formula (30) is an approximation that typically overestimates the uncertainty. Here $\text{slot}_{\text{idle}}$ is the number of idle slots in a frame with $\text{slot}_{\text{total}}$ being the total number of slots. The frame duration is t_{frame} , with $t_{\text{frame}} < t_{\text{int}}$. The total probe integration-time uncertainty is the sum of the errors for all subframes in the frame structure that have idle slots. For example, the basic frame for GSM systems has a frame duration $t_{\text{frame}} = 4,6$ ms, with 7 idle slots in an 8-slot frame, and the multiframe duration is $t_{\text{multiframe}} = 120$ ms, 1 idle slot in a 26-slot frame. For a probe integration time of 0,2 s, the uncertainty is estimated to be $0,020 \cdot 1 + 0,023 \cdot 1 = 0,043$ or 4,32 % for GSM using Formula (30), compared with 3,84 % using Formula (28) and Formula (29). GPRS is the same as GSM, except that the number of idle slots can be 6, 5, ..., where 7 idle slots is the worst case.

A rectangular probability distribution shall be assumed for probe integration-time uncertainty. For continuous or CW-equivalent signals, an uncertainty value of zero shall be entered.

7.2.2.8.3 Probe integration-time uncertainty for non-periodic signals

For signals other than periodic pulsed, the probe integration time should be determined from SAR measurements using a stable source with the same signal characteristics and the same probe type that is used for DUT measurements. Measurements at a single point (where the SAR is at least 1 W/kg) shall be made consecutively using the chosen integration time and progressively larger integration times. The integration time shall be doubled for each consecutive measurement until the last and next to last measurements are within 0,5 % of each other. Each measurement at a given integration time shall be repeated several times to verify that the measurement result is stable, and the average SAR of the repeat measurements shall be used for that integration time. For the probe integration time, a rectangular probability distribution shall be assumed. The uncertainty is the percentage difference between the average SAR at the chosen integration time and the average SAR at the longest integration time.

7.2.3 Contribution of mechanical constraints

7.2.3.1 Mechanical tolerances of the probe positioner (directions parallel to phantom surface)

The mechanical tolerances of the field probe positioner can introduce deviations in the accuracy and repeatability of probe positioning which add to the uncertainty of the measured SAR. The uncertainty may be estimated with respect to the specifications of the probe positioner relative to the position required by the actual measurement location defined by the geometrical centre of the field probe sensors and is expressed as maximum deviation d_{ss} . By assuming a rectangular probability distribution, the peak spatial-average SAR uncertainty contributions due to mechanical tolerances of the probe positioner may be calculated using d_{ss} according to a first-order error approximation:

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100 \quad (31)$$

where

$SAR_{\text{uncertainty}}$ is the uncertainty in percent;

d_{ss} is the maximum position uncertainty between the calculated position at the centre of the probe sensors and the actual position with respect to a reference point defined by the system manufacturer,

δ is the penetration depth of the head tissue-equivalent liquid defined in this Standard.

If the manufacturer of the positioner does not specify the mechanical tolerances of the probe positioner, this shall be evaluated to determine the contribution to SAR measurement uncertainty. This can be done by evaluating the relative accuracy of probe movements within the area-scan region. The largest distance difference between the target and actual positions shall be used to assess the SAR uncertainty. The SAR uncertainty shall be entered in column c of Table 11, Table 12 and Table 13 assuming rectangular distribution.

7.2.3.2 Probe positioning with respect to phantom shell surface

The uncertainty of the probe positioner with respect to the phantom shell shall be estimated as the maximum deviation of the distance between the probe tip and the phantom surface d_{ph} . By assuming a rectangular probability distribution, the peak spatial-average SAR uncertainty contribution is calculated using:

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = \frac{d_{ph}}{\delta/2} \times 100 \quad (32)$$

where

$SAR_{\text{uncertainty}}$ is the uncertainty in percent;

d_{ph} is the maximum deviation of the distance between probe tip and phantom shell, i.e. the uncertainty of determining the probe tip location;

δ is the penetration depth of the head tissue-equivalent liquid defined in this Standard.

7.2.3.3 First-order approximation of exponential decay

Formulae (31) and (32) are first-order error approximations of the SAR error corresponding to a positioning error Δz at location z and may be estimated according to Formula (33):

$$\frac{\Delta SAR}{SAR} = \frac{SAR_0 e^{-2\alpha(z+\Delta z)} - SAR_0 e^{-2\alpha z}}{SAR_0 e^{-2\alpha z}} \quad (33)$$

$$= (e^{-2\alpha\Delta z} - 1) = 1 - 2\alpha\Delta z + \frac{1}{2}(2\alpha\Delta z)^2 + \dots + (-1) \approx -2\alpha\Delta z$$

Here α is the reciprocal of the field penetration depth δ , and SAR_0 is the SAR value at the surface of the phantom ($z = 0$). $\Delta SAR/SAR$ is an estimate of the SAR sensitivity for the exponential decay.

The SAR uncertainty shall be entered in Column *c* of Table 11, Table 12 and Table 13 in the uncertainty table assuming a rectangular distribution.

7.2.4 Phantom shell

The phantom uncertainty is defined as the uncertainty of the induced peak spatial-average SAR due to phantom production uncertainties, and uncertainties of the dielectric parameters of the tissue-equivalent liquid within the phantom (see 7.2.6.3 and 7.2.6.4). Phantom production specifications are used to estimate the phantom shell uncertainty, which includes the following requirements.

- Deviations in the inner and outer shapes of the phantom shell shall be within $\pm 0,2$ mm from that defined by the CAD file used for this Standard.
- Deviations in phantom shell thickness from that defined by the CAD file shall be $2 \pm 0,2$ mm.

The SAR measurement uncertainty is estimated according to the square of the distance between an equivalent current filament and the tissue medium boundary of the phantom shell. The assessment is based on the distance dependency of the near-field energy absorption mechanism [82]. To approximate the SAR at a measurement location, this theory assumes a separation distance of a between the tissue medium boundary at the phantom shell inner surface and the location of an equivalent filament current density on the device. The separation distance depends on device thickness and internal design; a typical conservative value for a is 5 mm. The SAR uncertainty due to phantom production tolerances shall be estimated using Formula (34) for frequencies up to 3 GHz:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = 100 \times \left(\frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right) \quad (34)$$

where:

$SAR_{\text{uncertainty}}$ is the uncertainty in percent;

d is the maximum tolerance of the shell thickness and phantom shape;

a is the distance between the head tissue-equivalent liquid and the location of the source equivalent current density.

If the tolerance of the shell thickness and the phantom shape cannot be evaluated, the maximum tolerance of the inner and outer shell of the phantom from that specified in the CAD file can be applied for d . It has been shown that at higher frequencies, particularly above 3 GHz, the permittivity of the phantom shell, $\epsilon_{r,\text{shell}}$, has an increasing impact on the uncertainty [123]. Therefore, Formula (35) shall be used above 3 GHz:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \sqrt{\left[100 \times \left(\frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right) \right]^2 + \left(5 \times |\epsilon_{r,\text{shell}} - 4| \right)^2} \quad \text{for } 2 \leq \epsilon_{r,\text{shell}} \leq 5 \quad (35)$$

where d is the maximum tolerance of the shell thickness and phantom shape. The term $5 \times |\varepsilon_{r, \text{shell}} - 4|$ is defined as the absolute value of the actual permittivity of the shell minus 4 multiplied with the uncertainty of 5 % assessed when the permittivity deviates by 1. A relative permittivity of 4 has been suggested for the shell in [123] to reduce the dependence of the psSAR on the permittivity at 5,2 GHz for the investigated configurations and is therefore used as a reference permittivity in the uncertainty assessment.

The SAR uncertainty for phantom production uncertainty shall be entered in the corresponding row of Table 11, Table 12 and Table 13, and a rectangular probability distribution is assumed.

7.2.5 Device positioning and holder uncertainties

7.2.5.1 General

A device holder is used to maintain the test position of a handset against the phantom during a SAR measurement. Because a device holder may influence the characteristics of a handset under test, the SAR uncertainty due to device holder perturbation shall be estimated using the procedures in 7.2.5.2. Procedures for SAR uncertainties due to positioning variations resulting from mechanical uncertainties of the device holder are discussed in 7.2.5.3. Both subclauses include procedures for device-specific and predetermined uncertainties. If predetermined uncertainties are used, in most cases multiple repeats of device-specific tests are required to reduce the predetermined standard deviations further.

7.2.5.2 Device holder perturbation uncertainty

7.2.5.2.1 General

The device holder shall be made of low-loss dielectric material with a loss tangent $\leq 0,05$ and relative permittivity ≤ 5 (these material parameters can be determined for example using the coaxial contact probe method). Nevertheless, some holders may still affect the source, so the uncertainty resulting from the holder (i.e. the deviation from a set-up without the holder) shall be estimated. The uncertainty of the device holder for testing a specific DUT shall be estimated according to the Type B method described below. Alternatively, the Type A method described below can be used to assess the uncertainty for a group of handsets having similar SAR characteristics and tested with the same device holder.

7.2.5.2.2 Device holder perturbation uncertainty for a specific DUT: Type B

The uncertainty for a specific handset operating in a specific device holder shall be estimated by performing the following two tests using a flat phantom:

- assessment of the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR ($SAR_{w/ \text{holder}}$) by placing the device in the holder in the same way it would be held when tested next to the head, then positioning the handset in direct contact with a flat phantom (horizontal and vertical centre line of the handset parallel to the bottom of the flat phantom);
- assessment of the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR ($SAR_{w/o \text{ holder}}$) by placing the device in the same position as in a) but held in place using foamed polystyrene or equivalent low-loss and non-reflective material (permittivity no greater than 1,2 and loss tangent no greater than 10^{-5}).

The SAR uncertainty to be used in Table 11 is:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \left(\frac{SAR_{w/ \text{holder}} - SAR_{w/o \text{ holder}}}{SAR_{w/o \text{ holder}}} \right) \times 100 \quad (36)$$

where

$SAR_{\text{uncertainty}}$ is the uncertainty in percent;

$SAR_{w/holder}$ is the SAR with device holder in W/kg;
 $SAR_{w/o holder}$ is the SAR without device holder in W/kg.

This uncertainty has an assumed rectangular probability distribution and $\nu_i = \infty$ degrees of freedom.

7.2.5.2.3 Device holder perturbation uncertainty for a specific test device: Type A

The specific device holder disturbance uncertainty data evaluated according to the Type B method described above for a group of handsets with the same shape and with substantially equivalent SAR distribution characteristics shall be statistically compiled and applied to selected groups of devices tested in the same device holder and the same configurations. The statistical procedures shall include at least six devices, each evaluated according to the Type B method described above. As more handsets having similar SAR characteristics are evaluated with the same device holder, the perturbation error may be included in a Type A uncertainty analysis and applied to future SAR evaluations of similar device and holder configurations. Increasing the number of test devices will increase the degrees of freedom (ν_i) and lower the coverage factor (k_p). The coverage factor (k_p) for such conditions should be determined as $k_p = t_p(\nu_{eff})$ where $t_p(\nu_{eff})$ is the coverage factor of the t -distribution, and ν_{eff} is the effective number of degrees of freedom estimated using the Welch-Satterthwaite Formula (21). The effect of the device holder for N different models of handsets in the different configurations shall be estimated by performing the tests of according to the Type B method described above for each model (N shall be at least 6).

The corresponding uncertainty for Table 11 shall be estimated by using the root-mean-square of the individual uncertainties, with degrees of freedom of $\nu_i = N - 1$. The database should be updated yearly in order to account for handset design changes.

7.2.5.3 Handset positioning uncertainty with a specific test device holder: Type A

7.2.5.3.1 General

The deviation of the actual handset position from the positions described in the standard depends on the precision of the handset positioner as well as on the interpretation and handling of the person performing the test. In addition, the magnitude of this deviation on the peak spatial-average SAR values depends on the handset design. Since these parameters cannot be separated, the following Type A tests as described below shall be performed.

7.2.5.3.2 Positioning uncertainty of a specific handset in a specific device holder

The positioning uncertainty of a specific handset tested in a specific device holder is assessed by repeating measurements of the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR. This positioning uncertainty shall be evaluated using the antenna position, frequency channel, and device position for the operating mode that produced the highest SAR among all frequency bands. In addition to the original SAR measurement, the handset shall be repositioned and the tests repeated at least four times. This minimum of five tests is sufficient to establish a reasonable value for the degrees of freedom. If the positioning uncertainty of an individual device is suspected to be large, more tests may need to be performed to reduce the impact on the total measurement uncertainty. Increasing the number of tests will increase the effective degrees of freedom (ν_{eff}) and decrease the coverage factor. The average SAR for the total number of measurements (N) is used to determine the SAR uncertainty according to the standard deviation and degrees of freedom ($\nu_i = N - 1$) of the number of tests performed.

7.2.5.3.3 Positioning uncertainty of specific types of handsets in a specific device holder

A Type A uncertainty analysis can be applied for a group of handsets with predominantly the same shape and substantially equivalent dimensions and SAR distributions. The tests shall include at least six devices, each evaluated according to the procedures for a specific handset in a specific device holder described above. The number of tests n shall be at least 5,

and each of the n tests shall be performed for all M devices). Half of the n tests shall be in the cheek position and the other half shall be in the tilt position. The corresponding uncertainty shall be estimated by applying the root-mean-square of the M individual standard deviations. The value to be filled in the uncertainty table shall be the standard uncertainty with $k = 1$. The degrees of freedom are determined according to the total number of tests $N = n \times M$. For the M devices included in the specific group of handsets, $\nu_i = N - 1$. If this procedure is applied to determine uncertainty, it may be unnecessary to apply the procedures for a specific handset in a specific device holder described above to individual handsets. The database should be updated yearly in order to account for handset design changes.

7.2.6 Tissue-equivalent liquid parameter uncertainty

7.2.6.1 General

Details of dielectric parameter test methods are given in Annex J, and uncertainty estimation methods are given in 7.2.6.5.

In accordance with usual metrological practices, the measurement uncertainty for each of the dielectric parameters is required to be less than or equal to the allowable variations (see 6.2.1) from the target values of the measured dielectric parameters.

7.2.6.2 Liquid density

The electromagnetic parameters of the tissue-equivalent liquids are assumed to have a density of 1 000 kg/m³. This density shall be used for SAR evaluations. For the calculation of the SAR from the E-field distribution measured by the dosimetric probe, the liquid density is merely a numerical parameter which is not related to the actual density of the liquid. Therefore, no uncertainty need be associated with it.

7.2.6.3 Liquid conductivity uncertainty

The uncertainty due to the liquid conductivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the allowable tolerance from the target value in Table A.3 and the second source of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess conductivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability. See 6.2.1 for applicable tolerances and corrections of the liquid dielectrics. Formula (41) shall be used to correct the measured SAR for the deviations in conductivity.

7.2.6.4 Liquid permittivity uncertainty

The uncertainty due to the relative liquid permittivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the deviation from the target value given in Table A.3 and the second source of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess relative permittivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability. See 6.2.1 for applicable tolerances and corrections of the liquid dielectrics. Formula (41) shall be used to correct the measured SAR for the deviations in permittivity.

7.2.6.5 Assessment of dielectric liquid parameter measurement uncertainties

The measurement procedures described in Annex J use vector network analysers for dielectric property measurements. Network analysers require calibration in order to account for and remove inherent losses and reflections. The uncertainty budget for dielectric measurement derives from inaccuracies in the calibration data, analyser drift, and random errors. Other sources of errors are the uncertainties of the sample holder hardware, and deviations from the optimal dimensions for the specified frequencies, and sample properties. This applies regardless of the type of sample holder and the nature of the scattering parameters being measured. Uncertainties due to the straight-line fit in the slotted-line method can be evaluated using a least-squares analysis [141].

An example uncertainty template is shown in Table 5. All influence quantities may or may not apply to a specific test set-up or procedure, and other components not listed may be relevant in some test set-ups. Measurement of well-characterized reference liquids can be used to estimate the dielectric property measurement uncertainty [37], [71], [106], [122], as described in the following procedure.

- a) Configure and calibrate the network analyser in a frequency span large enough around the centre frequency of interest, of the liquid used in the SAR measurement.
- b) Measure a reference material.
- c) Repeat Steps a) and b) at least n times (where n is at least three and is sufficient such that the measurements have stabilized. n should be large enough to keep the repeatability in Step d) within the applicable tolerances as specified in 6.2.1 at all frequencies of interest. Make the measurements at the same liquid temperature at which the dielectric target properties of the reference liquids are known. At each frequency, perform Steps d) to g).
- d) Calculate the repeatability as the sample standard deviation divided by the mean value. For the permittivity, this is given by Formula (37):

$$repeatability[\%] = 100 \times \frac{1}{\bar{\epsilon}_r'} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\epsilon_{ri}' - \bar{\epsilon}_r')^2} \quad (37)$$

where the mean value is defined in Formula (38):

$$\bar{\epsilon}_r' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon_{ri}' \quad (38)$$

Do the same for the conductivity.

- e) Enter the repeatability in Row 1, Column a, of Table 5. The number of degrees of freedom $\nu_i = n - 1$ is entered in Column e. Determine the deviation of the dielectric parameters from the target values ϵ_{rref}' and σ_{ref} . For the permittivity, this is given by Formula (39):

$$deviation[\%] = 100 \times \left| \frac{\bar{\epsilon}_r' - \epsilon_{rref}'}{\epsilon_{rref}'} \right| \quad (39)$$

- f) Enter the deviation in Row 2, Column a, of Table 5. The number of degrees of freedom $\nu_i = n - 1$ is entered in Column e. Do the same for the conductivity.
- g) Estimate the Type B uncertainties for the other components of Table 5 (and other relevant components if needed) in the frequency range under consideration.
- h) Determine the combined standard uncertainty as the RSS of the uncertainty components from Steps d), e), and f). Enter this value in Row 5, Column d of Table 5.
- i) For the relative permittivity, choose the frequency that gives the largest value for the combined standard uncertainty in Step g). Enter this uncertainty and the corresponding degrees of freedom ν_i into the appropriate row of Table 11, Table 12 and Table 13. Do the same for the conductivity.

Table 5 – Example uncertainty template and example numerical values for dielectric constant (ε_r') and conductivity (σ) measurement

		a		b	c	d $u_i = (a/b) \times (c)$	e
	Uncertainty component	Uncertainty ($\pm$ %)	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty ($\pm$ %)	ν_i or ν_{eff}
1	Repeatability of ε_r' or σ (N repeats)	5,2	N	1	1	5,2	4
2	Deviation from reference liquid target ε_r' or σ	3,0	R	$\sqrt{3}$	1	1,73	4
3	Network analyser-drift, linearity, etc.	0,5	R	$\sqrt{3}$	1	0,29	∞
4	Test-port cable variations	0,5	U	$\sqrt{2}$	1	0,35	∞
5	Combined standard uncertainty					5,50	5

NOTE Row headings 1 to 5 and column headings a to e are for reference.

In Table 11, Table 12 and Table 13, the sensitivity coefficients c_i in Columns *f* and *g* for the measurement uncertainties of the conductivity and permittivity of tissue-equivalent liquids are needed. These sensitivity coefficients are c_σ for conductivity and c_ε for permittivity. They are calculated using Formula (42) to Formula (45). The largest sensitivity coefficients over the 300 MHz to 6 000 MHz frequency range were found to be $c_\sigma = 0,78$ (at 300 MHz) and $c_\varepsilon = 0,23$ (at 2 000 MHz) for 1 g averaging, and $c_\sigma = 0,71$ (at 300 MHz) and $c_\varepsilon = 0,26$ (at 5 500 MHz) for 10 g averaging. These maximum values are entered into Table 11, Table 12 and Table 13. Alternatively, maximum values for specific tested frequency ranges may be entered.

7.2.6.6 Liquid temperature uncertainty

The measurements of both SAR and tissue dielectric parameters shall be carried out at an ambient temperature between 18 °C and 25 °C inclusive. These two measured temperatures shall not differ by more than 2 °C. The following evaluation shall be conducted for each recipe to determine the uncertainty caused by the temperature tolerance. This evaluation is typically done only once per recipe at the frequencies of interest. This evaluation shall be performed for every new recipe or modification to a recipe.

Measurements of the dielectric parameters at liquid temperatures $T_{\text{low}} = 18$ °C and $T_{\text{high}} = 25$ °C shall be used to compute temperature uncertainty according to the Formulas (40). The conditions that apply here only concern the evaluation of the liquid temperature uncertainty and do not affect the temperature requirements during testing.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{liquid temperature uncertainty}}[\%] &= 100 \times \left| \frac{2 \times [\varepsilon_r(T_{\text{high}}) - \varepsilon_r(T_{\text{low}})]}{\varepsilon_r(T_{\text{high}}) + \varepsilon_r(T_{\text{low}})} \times \frac{2^\circ\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \\ \sigma_{\text{liquid temperature uncertainty}}[\%] &= 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{high}}) - \sigma(T_{\text{low}})]}{\sigma(T_{\text{high}}) + \sigma(T_{\text{low}})} \times \frac{2^\circ\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \end{aligned} \quad (40)$$

where

$\varepsilon_{\text{liquid temperature uncertainty}}$

is the temperature uncertainty for the liquid permittivity in percent;

$\sigma_{\text{liquid temperature uncertainty}}$	is the temperature uncertainty for the liquid conductivity in percent;
$\varepsilon_r(T_{\text{high}})$	is the relative permittivity at temperature T_{high} ;
$\varepsilon_r(T_{\text{low}})$	is the relative permittivity at temperature T_{low} ;
$\sigma(T_{\text{high}})$	is the conductivity at temperature T_{high} ;
$\sigma(T_{\text{low}})$	is the conductivity at temperature T_{low} ;
T_{high}	is the highest temperature in °C at which the dielectric parameters were measured;
T_{low}	is the lowest temperature in °C at which the dielectric parameters were measured.

These formulas can be used to derive the temperature uncertainty for the particular liquid. The uncertainty of the measurements for T_{low} and T_{high} shall be less than 0,1 °C. Note that this tolerance is applicable only for this uncertainty evaluation. They do not affect the temperature requirements during testing.

The values of $\varepsilon_{\text{liquid temperature uncertainty}}$ and $\sigma_{\text{liquid temperature uncertainty}}$ are entered into Column c of the appropriate rows in Table 11, Table 12 and Table 13. Calculated values for some recipes are provided in Annex I. A rectangular probability distribution has been assumed for the liquid temperature uncertainty in Table 11, Table 12 and Table 13.

7.2.7 Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity

7.2.7.1 General

It can be difficult to find suitable and stable liquid recipes whose dielectric parameters are close to the targets, at frequencies above 3 GHz. There are three possible solutions to this problem:

- change the dielectric target parameters to match those of available liquid recipes;
- widen the tolerance (without correcting the SAR for the deviation in dielectric parameters);
- widen the tolerance, and correct the SAR for the deviation of the measured dielectric parameters from the target values.

The third solution is recommended because changing the targets may restrict the standard to particular liquid recipes, and simply widening the tolerance increases the measurement uncertainty.

7.2.7.2 SAR correction formula for deviation from dielectric target values

For cases when deviations of permittivity $\Delta\varepsilon_r$ and/or conductivity $\Delta\sigma$ from the target values in Table A.3 exceed $\pm 5\%$ but are lower than $\pm 10\%$, the SAR correction methodology can be applied to reduce measurement uncertainty and correct measured SAR values. This method is also applicable if the expanded measured uncertainty is not within required $\pm 30\%$ (7.3.2).

The methodology used to determine the SAR correction is described in Douglas et al. [26] and [27]. The evaluation according to this methodology was conducted over a frequency range of 30 MHz to 6 000 MHz, but it is implemented over the 300 MHz to 6 000 MHz frequency range in this Standard. The methodology was also studied for permittivity and conductivity ranges of $\pm 20\%$ from the target values in Table A.3, but ranges of $\pm 10\%$ have been chosen for this Standard. Given that the change in dielectric parameters influences the conversion factor of the probe (see Annex B), this influence will be small if a range of $\pm 10\%$ is used.

A close to linear relationship was found between the percentage change in SAR (denoted ΔSAR) and the percentage change in the permittivity and conductivity from the target values in Table A.3 (denoted $\Delta\varepsilon_r$ and $\Delta\sigma$, respectively) for a specific range of $\Delta\varepsilon_r$ and $\Delta\sigma$. This linear

relationship agrees with the results of Kuster and Balzano [82] and Bit-Babik et al. [7]. The relationship is given by Formula (41):

$$\Delta SAR = c_{\varepsilon} \Delta \varepsilon_r + c_{\sigma} \Delta \sigma \quad (41)$$

where

ΔSAR is the correction of the SAR value;

$\Delta \varepsilon_r$ is the measured deviation of relative permittivity;

$\Delta \sigma$ is the measured deviation of conductivity.

Here, $c_{\varepsilon} = \partial SAR / \partial \varepsilon \times (\varepsilon / SAR)$ and $c_{\sigma} = \partial SAR / \partial \sigma \times (\sigma / SAR)$ are coefficients representing the sensitivity of the SAR to permittivity and conductivity, respectively.

The values of c_{ε} and c_{σ} have a simple relationship with frequency that can be described using polynomial formulas. These values depend on the SAR averaged over mass. The SAR averaging mass is described in standards and guidelines including IEEE Std C95.1-2005 [65] and ICNIRP [64]. For the 1 g peak spatial-average SAR, c_{ε} and c_{σ} are given by Formulas (42) and (43):

$$c_{\varepsilon} = -7,854 \times 10^{-4} f^3 + 9,402 \times 10^{-3} f^2 - 2,742 \times 10^{-2} f - 0,2026 \quad (42)$$

$$c_{\sigma} = 9,804 \times 10^{-3} f^3 - 8,661 \times 10^{-2} f^2 + 2,981 \times 10^{-2} f + 0,7829 \quad (43)$$

Where f is the frequency in GHz. For the 10 g peak spatial-average SAR, c_{ε} and c_{σ} are given by Formulas (44) and (45):

$$c_{\varepsilon} = 3,456 \times 10^{-3} f^3 - 3,531 \times 10^{-2} f^2 + 7,675 \times 10^{-2} f - 0,1860 \quad (44)$$

$$c_{\sigma} = 4,479 \times 10^{-3} f^3 - 1,586 \times 10^{-2} f^2 - 0,1972 f + 0,7717 \quad (45)$$

7.2.7.3 Correction uncertainty

The mean tolerance of Formulas (41), (42), (43), (44), and (45), defined as the square root of the mean of the squared differences between the SAR deviation predicted by the formulas and the simulated deviations, is shown in Table 6 for the 1 g peak spatial-average SAR and the 10 g peak spatial-average SAR. Table 6 shows how the uncertainty increases as the maximum allowable values of $\Delta \varepsilon_r$ and $\Delta \sigma$ increase. It has also been shown that these corrections are valid for realistic wireless handset models [26], [27].

Table 6 –Uncertainty of Formula (41) as a function of the maximum change in permittivity or conductivity

Max. change in ε_r or σ %	Uncertainty for SAR_{1g} %	Uncertainty for SAR_{10g} %
± 5	1,2	0,97
± 10	1,9	1,6
± 15	2,6	2,1
± 20	3,4	2,7

Using this approach, the measurement uncertainty is lower, due to the fact that this correction eliminates the need for uncertainty items that account for the deviation of the dielectric parameters from the targets. Instead, there is an uncertainty item which accounts for the error of the correction formula. The value of this uncertainty item is given in Table 6. For $\pm 10\%$ deviation in permittivity and conductivity, enter 1,9 % and 1,6 % in the uncertainty budget for 1 g and 10 g peak spatial-average SAR, respectively. These uncertainty values shall be entered into the appropriate rows of Table 11, Table 12 and Table 13, where a normal probability distribution is assumed.

7.2.8 Measured SAR drift

The SAR measurement drift of the DUT is accounted for by the first and last step of the measurement process defined in 6.4.2 by using the following two methods.

- a) As the preferred method, single-point SAR measurements are made by the SAR measurement system prior to the area scan being conducted. A secondary measurement is made by the system at the same point after completion of the SAR measurement. The measurement is conducted within the tissue equivalent liquid at a reference point where the SAR values for both primary and secondary measurements exceed the lower detection limit of the measurement system. The distance from the reference point to the phantom inner surface, in the normal direction from the phantom inner surface, shall be less than or equal to 10 mm.
- b) Alternatively, and if the preferred method in a) is not sensitive enough, conducted power measurements can be made on the device at the antenna port using equipment capable of measuring RF power prior to device placement for SAR test. A secondary RF power measurement shall be made after the SAR test has completed.

In either case, the drift is recorded as the percentage difference of the secondary reference measurement, $Ref_{secondary}$ (SAR or conducted power), from the primary reference measurement, $Ref_{primary}$:

$$drift = 100\% \times \frac{Ref_{secondary} - Ref_{primary}}{Ref_{primary}} \quad (46)$$

Commercial handsets shall have SAR drifts within $\pm 5\%$. Some devices could have significant fluctuations in output power that are not classifiable as undesirable power drift but rather are a characteristic of the normal operating behaviour of the device. In this case, other methods such as SAR scaling shall be considered to ensure that an accurate and conservative SAR is obtained.

If the SAR drift cannot meet the 5 % threshold while performing the SAR testing as per 6.4.2, then a drift measurement for the longest intended measurement evaluation time shall be performed without recharging the battery. This is done by performing a measurement according to method a) or b) above, continuously over the evaluation time (at least once every 5 s). This time sweep measurement shall be performed at each frequency band for the operating mode having the highest time-averaged output power. If the difference between the maximum and minimum in the time sweep is less than 5 % of the average value, or if the difference is less than 10 % and the SAR primarily decreases during the time sweep (it does not increase by more than 2 % at any time during the time sweep), it is sufficient to perform reference measurements at the beginning of the area scan and at end of the last zoom scan, as described in 6.4.2 d) and e). Otherwise, additional reference measurements shall be taken during the zoom scan, and the zoom scan measurements shall be corrected prior to performing extrapolation, integration and averaging. Linear interpolation between the reference measurements is performed prior to the correction. The SAR values measured during the zoom scan shall be corrected by the difference between the interpolated values and the first reference value measured before the area scan. The time between reference measurements during the zoom scan shall be sufficiently small such that correction of the time sweep curve described above is conservative for all points.

If the SAR drift is within 5 %, then it can be treated either as an uncertainty (i.e. random error) or a systematic offset. If the drift is larger than 5 %, the measurement drift shall be considered a systematic offset rather than an uncertainty.

If treated as an uncertainty, record the absolute value of the drift in the uncertainty table. Do not add the drift to the assessed SAR value. The uncertainty value reported in the uncertainty budget shall either be the value corresponding to the highest SAR measurement drift reported, or the maximum allowed 5 %).

If treated as a systematic offset, apply compensation to the measured SAR, i.e. adding the absolute difference to the determined SAR value if the drift is either negative or positive:

$$SAR_{\text{compensated}} = SAR_{\text{measured}} \times (1 + |drift|/100\%) \quad (47)$$

In this case it is not necessary to record the drift in the uncertainty budget (i.e. $u_i = 0\%$). To maintain a conservative value for the resulting SAR, drifts are not subtracted from the assessed SAR. If different assessed operating modes of the device exhibit different drift ratios, all the corresponding measured SAR values can be compensated by the same ratio, provided that the applied drift ratio is the largest one detected during the SAR testing over all operating modes of the device. The uncertainty shall be estimated assuming a rectangular probability distribution.

7.2.9 RF ambient conditions

The effect of RF ambient on the measurement uncertainties shall be evaluated. The ambient RF level is evaluated by performing SAR measurements using the same equipment set-up as used for testing the DUT, but with the RF power switched off. For both 1 g and 10 g averaging mass, the SAR due to RF ambient shall be less than or equal to 0,012 W/kg (i.e. 3 % of 0,4 W/kg).

It is not necessary to check RF ambient noise prior to each SAR test provided the laboratory can demonstrate that there are no new RF sources.

The test configurations described in Clause D.2 are used to assess the effects of reflections from nearby objects at a test site. The total amount of reflections shall comply with requirements in 5.1. In addition, the RF ambient noise shall be determined by performing SAR measurements with all local RF sources switched off. The allowable variation shall be within $\pm 3\%$ of 0,4 W/kg and the uncertainty shall be estimated assuming a rectangular probability distribution.

When SAR measurements are performed in a controlled environment, such as an anechoic chamber, RF ambient effects shall be assessed at least once per year. Otherwise, RF ambient effects should be assessed before performing any SAR measurement on the device, and ambient conditions shall be monitored during the measurement so that any nearby high output sources, for example walkie-talkies, do not affect the SAR measurements. The rationale for the non-controlled environment RF check evaluation is that there is no reason to assess this uncertainty contribution before any SAR measurement if it can be demonstrated that RF sources are sufficiently far from the SAR measurement system location, even if the measurement system is placed in a non-controlled environment, given the near field nature of the SAR measurement. The rationale on calibration intervals described in ISO 10012:2003 is recommended to assess the periodicity of evaluating RF ambient effects on SAR measurements.

7.2.10 Contribution of post-processing

7.2.10.1 General

Subclause 7.2.10 describes the estimation of the uncertainty resulting from the post-processing of the discrete measured data to determine the 1 g and 10 g peak spatial-average SAR, i.e. the combined uncertainty of interpolation, extrapolation, averaging and maximum finding algorithms. These algorithms may add uncertainty due to assumptions of general field behaviour, and therefore may not perfectly predict the SAR distribution in the tissue-equivalent liquid for a specific handset. The algorithm uncertainty is a function of the resolution chosen for the measurement and the post-processing methods used in the area and zoom scans.

The actual SAR distribution at the peak location is strongly dependent on the operating frequency and design of the handset, test position, and proximity to the tissue equivalent liquid. SAR distributions can have a rather flat gradient when a low frequency source is a large distance away or can have a very steep gradient when a small high frequency source such as a helix antenna is placed next to the tissue. In some cases, the maximum SAR is not at the surface of the phantom due to cancellation of magnetic fields at the surface [90].

The analytical SAR distribution functions presented below are intended to simulate these conditions and were developed for the purpose of this uncertainty estimation. These empirically derived reference functions are used to create artificial or "dummy" SAR data sets for testing the system software post-processing subroutines. Computed reference function values at coarse and fine grid spacing, the same as those used in measurements, are input to the SAR system software. SAR values at grid points corresponding to the area- and zoom-scan measurement grids are computed according to the three SAR distribution functions given in 7.2.10.2 and processed by the system interpolation, extrapolation, and integration algorithms as if they were actually measured. The resulting 1 g and 10 g peak spatial-average SAR values are compared with reference SAR values listed in 7.2.10.2. Procedures for evaluating the SAR uncertainty of the area- and zoom-scan post-processing algorithms are described in 7.2.10.3. The test functions assume a planar tissue-equivalent liquid and phantom interface. The applicability of these functions for curved interfaces is discussed in 7.2.10.4. This uncertainty concept assumes that there are no errors in location of the grid points calculated with the analytical distribution functions, and probe positioning and measurement uncertainties are not included.

7.2.10.2 Evaluation test functions

Three analytical functions, f_1 , f_2 and f_3 , are used to represent the possible range of SAR distributions expected for handsets tested according to the procedures of this document. A distribution, f_1 , is based on the evaluation of SAR footprints of actual wireless devices and is applicable for frequencies up to 2 GHz. Since f_1 takes into account devices placed in close proximity to SAM phantom at frequencies above 900 MHz, f_1 is also used to model very steep SAR gradients. Two parameter sets are given for f_1 such that SAR distributions with single and double maxima can be evaluated. The function f_2 is used at frequencies up to 3 GHz to account for exposure conditions with H-field cancellation at the phantom-tissue surface. A third reference function f_3 is defined for testing in the frequency range 3 GHz to 6 GHz. Since noise may affect the extrapolation at these frequencies, a noise term is included. The distribution functions are defined for the phantom surface at $z = 0$ and the half-space tissue medium for all $z > 0$ in Formula (48):

$$f_1(x, y, z) = A_1 \exp \left[-\frac{(x' + x_d / 2)^2}{2\sigma_{x\text{peak}}^2} \right] \exp \left(-\frac{y'^2}{2\sigma_{y\text{peak}}^2} \right) e^{-\frac{z}{a}} \\ + A_2 \exp \left[-\frac{(x' - x_d / 2)^2}{2\sigma_{x\text{sec}}^2} \right] \exp \left(-\frac{y'^2}{2\sigma_{y\text{sec}}^2} \right) e^{-\frac{z}{a}} \quad (48)$$

$$f_2(x, y, z) = A e^{-\frac{z}{a}} \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \left(3 - e^{-\frac{2z}{a}} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{y'}{3a} \right) \quad (49)$$

$$f_3(x, y, z) = A \exp \left[-\frac{(x'^2 + y'^2 / 2)}{(a/4)^2} \right] e^{-\frac{8z}{a}} + N_{\text{rms}} \text{rnd}(\zeta) \quad (50)$$

Note that due to the noise term in the function f_3 , it should be evaluated at least 4 000 times to verify that the standard deviation converges to the correct value. x , y and z are the spatial Cartesian coordinates of the SAR distribution. The SAR averaging cube shall be assumed directly against the surface of a planar phantom. The z -axis is normal to the phantom surface, and the axes of the averaging cube are aligned with the axes of the coordinate system.

In Formula (48), the parameters $\sigma_{x_{\text{peak}}}$, $\sigma_{y_{\text{peak}}}$, $\sigma_{x_{\text{sec}}}$ and $\sigma_{y_{\text{sec}}}$ are set as follows:

$$\sigma_{x_{\text{peak}}} = \begin{cases} \sigma_{x_{\text{pp}}}, x' \geq -x_d / 2 \\ \sigma_{x_{\text{pn}}}, x' < -x_d / 2 \end{cases} \quad (51)$$

$$\sigma_{y_{\text{peak}}} = \begin{cases} \sigma_{y_{\text{pp}}}, y' \geq -y_d / 2 \\ \sigma_{y_{\text{pn}}}, y' < -y_d / 2 \end{cases} \quad (52)$$

$$\sigma_{x_{\text{sec}}} = \begin{cases} \sigma_{x_{\text{sp}}}, x' \geq x_d / 2 \\ \sigma_{x_{\text{sn}}}, x' < x_d / 2 \end{cases} \quad (53)$$

$$\sigma_{y_{\text{sec}}} = \begin{cases} \sigma_{y_{\text{sp}}}, y' \geq 0 \\ \sigma_{y_{\text{sn}}}, y' < 0 \end{cases} \quad (54)$$

The parameters for Formula (49) have been selected on the evaluations of different handsets at 1 950 MHz. They are given in Table 7. The decay parameter a was derived by fitting experimental zoom scan data at 1 950 MHz with an exponential decay curve and by averaging the results of different handsets.

Table 7 – Parameters for the reference function f_1 in Formula (48)

No of peaks	A_1 [W/kg]	A_2 [W/kg]	a [mm]	x_d [mm]	$\sigma_{x_{\text{pp}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{pp}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{sp}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{sp}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{pn}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{pn}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{sn}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{sn}}}$ [mm]
1	1,2	0,0	11,9	n. a.	19,6	15,5	n. a.	n. a.	21,9	17,2	n.a.	n.a.
2	1,2	1,0	11,9	60,47	22,6	19,7	19,4	19,6	22,0	15,5	17,9	24,2

In Formulas (48), (49) and (50), the parameters are set as follows:

$$x' = x + d$$

$$y' = y + d$$

where d is the offset parameter,

$$a = 20 \text{ mm};$$

$$A = 1 \text{ W/kg}.$$

The above parameters a and A only apply to Formula (49) and Formula (50). They do not have any particular physical meaning other than for generation of the appropriate SAR distributions. A value of $d = 2,5$ mm, for example, provides a lateral shift of the SAR distribution so that the peak location is not aligned with a measurement grid having a 5 mm increment. This offset is used to test the software peak search subroutines and uncertainty. N_{rms} represents the variance of the system noise (in W/kg) in the liquid in the absence of an RF signal. In a measurement system, this parameter is system dependent and corresponds to the noise measured inside the liquid in the absence of an RF signal. However, for analytical purposes, a fixed N_{rms} value shall be used. For the evaluation of the reference function f_3 , $N_{\text{rms}} = 0.1$ W/kg shall be used, corresponding to a signal-to-noise ratio of $10 \log_{10}(A/N_{\text{rms}}) = 10$ dB at the location of the peak spatial-average SAR. $\text{rnd}(\zeta)$ is a function which returns normally distributed random numbers at each point on the measurement grid. $\text{rnd}(\zeta)$ has a mean of zero and a standard deviation of 1. Appropriate functions are available in typical math applications. The variable ζ is an arbitrary seed.

The reference SAR values from the distribution functions f_1 , f_2 , and f_3 for 1 g and 10 g cubes aligned with the (x, y, z) coordinate axes are given in a) to e) below. These SAR values were calculated with an accuracy of 0,01 %.

- a) $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{1 \text{ g}} = 0,791$ W/kg, $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{10 \text{ g}} = 0,494$ W/kg; for one-peak case;
- b) $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{1 \text{ g}} = 0,796$ W/kg, $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{10 \text{ g}} = 0,503$ W/kg; for two-peak case, cube centred on the primary peak;
- c) $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{1 \text{ g}} = 0,686$ W/kg, $SAR_{\text{ref}} = (f_1)_{10 \text{ g}} = 0,438$ W/kg; for two-peak case, cube centred on the secondary peak;
- d) $SAR_{\text{ref}} = (f_2)_{1 \text{ g}} = 1,796$ W/kg, $SAR_{\text{ref}} = (f_2)_{10 \text{ g}} = 1,375$ W/kg;
- e) $SAR_{\text{ref}} = (f_3)_{1 \text{ g}} = 0,157$ W/kg, $SAR_{\text{ref}} = (f_3)_{10 \text{ g}} = 0,0268$ W/kg.

When function f_1 is considered, the maximum deviation from reference values obtained considering one-peak and two-peak cases shall be used for post-processing uncertainty computations.

These reference values are used in the following subclauses for testing the post-processing algorithms used by the area and zoom scans.

7.2.10.3 Data-processing algorithm uncertainty evaluations

7.2.10.3.1 Evaluation of the coarse area scan

The area-scan interpolation algorithms shall be capable of locating peak spatial-average SAR coordinates with an accuracy of $\pm L_z/2$ mm or better, where L_z is the side length of the zoom-scan volume. If this precondition is satisfied, which is tested with the procedures of 7.2.10.3.1 the evaluation of the area scan does not contribute to the uncertainty budget.

The reference function values calculated at the usual area-scan grid points are input to the system software. The interpolation algorithm treats these data points as if they were measured to complete the area scan and determine the peak spatial-average SAR location $(x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}})$. This is compared with the actual peak location defined by the analytical functions at $(x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}})$, with an offset parameter d , as defined in 7.2.10.2 for x' and y' for Formulas (48), (49) and (50). The subscripts "eval" and "ref" refer to evaluated and reference, respectively. In other words, the following inequalities shall be satisfied:

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2, |y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \quad (55)$$

The following procedure shall be used to assess the uncertainty of the interpolation algorithms used in the area scan for determining the peak SAR location.

- a) Choose the measurement resolution (Δx , Δy), and number of evaluation (corresponding to measurement) points (N_x , N_y). The centre of the area scan shall be set to $(x_0, y_0) = (0, 0)$.
- b) SAR values are computed using the functions f_1 , f_2 and f_3 at the evaluation grid points of the area scan within the following ranges:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \leq x \leq x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2], \quad (56)$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \leq y \leq y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2], \quad (57)$$

where N_x and N_y are odd integers. A value of $z = 0$ is assumed since the peak location is independent of z for these three functions.

The SAR values computed by the three distribution functions are interpolated by the SAR measurement system with a spatial resolution of $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ according to the interpolation functions $g_i(x)$ and $g_i(y)$ used by the system to determine the peak spatial-average SAR location $(x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}})$. If the measurement system does not allow SAR values to be imported to perform the assessment, the same algorithm shall be implemented independently by other means to determine the interpolation and peak search uncertainties.

The peak spatial-average SAR location determined by the interpolation algorithms shall satisfy the requirements of the inequalities in Formulas (55). Otherwise, the data-processing and measurement systems shall use a finer grid resolution and/or a larger number of interpolation points to repeat the assessment starting at Step b).

The centre of the area scan (x_0, y_0) shall be shifted in 1 mm steps within the range $0 < x_0 \leq \Delta x/2$ and $0 < y_0 \leq \Delta y/2$ to repeat the assessment starting at Step b) for each of the shifted (x_0, y_0) in these ranges.

7.2.10.3.2 Evaluation of the zoom scan

The zoom scan is evaluated by comparing the highest 1 g or 10 g SAR values with the reference SAR values in 7.2.10.2. From the area scan procedure in 7.2.10.3.1, the true peak location $(x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}})$ will be displaced from the estimated peak location $(x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}})$ by an amount given by inequalities in Formulas (55). This displacement is accounted for in the reference functions f_1 , f_2 and f_3 in 7.2.10.2 by incorporating the distance d . Since this displacement will vary in practice, the value of d shall be varied over the range:

$$|d| \leq (L_z - L_c)/2 \quad (58)$$

where L_c is the cube side length (10 mm for 1 g, 21,5 mm for 10 g). For each distance d , the largest uncertainty produced by any of the three functions is recorded. The root-mean-square of the largest uncertainty values for several distances d is entered as the uncertainty due to extrapolation, interpolation and integration.

Although the requirement for the area scan is that the local peak spatial-average SAR be located within $|d| \leq L_z/2$, a smaller range of $|d| \leq (L_z - L_c)/2$ is used here to ensure that the 1 g or 10 g cube can be computed on the first attempt. For values of $(L_z - L_c)/2$ and $|d| \leq L_z/2$, the measurement software shall alert that the 1 g or 10 g cube is not captured and the measurement shall be re-attempted. This will not affect the uncertainty, so it is not necessary to consider this case here.

The procedure is as follows.

- a) Choose a displacement d for the evaluation of the functions f_1 , f_2 and f_3 . d shall vary from $-(L_z - L_c)/2$ to $+(L_z - L_c)/2$ in small increments (e.g. 1 mm steps). The displacement shall also vary separately in the x - and y -directions.
- b) SAR values are computed according to the functions f_1 , f_2 and f_3 , at the evaluation grid points that correspond to measured zoom-scan volume points. The zoom-scan volume shall be centred at:

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h / 2 + d_{be}) \quad (59)$$

where

L_h is the height of the zoom-scan volume;

d_{be} is the distance of the closest measurement point from the inner surface of the phantom.

- c) The computed SAR values are extrapolated to the phantom surface at $z = 0$ by the system software to obtain the additional points in the zoom-scan volume that cannot be measured due to probe constraints. Both the computed and extrapolated data points are then interpolated to a finer resolution by the system software, which subsequently applies the integration algorithms as well as the search algorithm for finding the peak spatial-average SAR within the zoom-scan volume to determine the highest 1 g or 10 g peak spatial-average SAR. Other procedures are possible. If the system does not allow SAR values to be imported to perform the assessment, the same algorithm shall be implemented independently by other means to test the extrapolation, interpolation and integration algorithms.
- d) The 1 g and 10 g peak spatial-average SAR values determined by the system or data processing software (SAR_{eval}) are compared to the reference SAR values given in 7.2.10.2. The standard deviation caused by the random noise ($SAR_{stdev}(N_{rms})$) is determined by evaluating f_3 at least 4 000 times, and with each of the 4 000 or more evaluations using different random noise parameters. The SAR uncertainty for distribution functions f_1 and f_2 is calculated using Formula (60):

$$SAR_{uncertainty} [\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{eval} - SAR_{ref}}{SAR_{ref}} \right| \quad (60)$$

The SAR uncertainty for distribution function f_3 is calculated using Formula (61):

$$SAR_{uncertainty} [\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{eval} - SAR_{ref}}{SAR_{ref}} \right| + 100\sqrt{3} \times \left| \frac{SAR_{stdev}(N_{rms})}{SAR_{ref}} \right| \quad (61)$$

- e) The highest SAR uncertainty estimated by the three distribution functions is recorded.
- f) Repeat Steps b) to e) for other displacement values d .
- g) Compute the root-mean-squared value of the uncertainties calculated in Step d) for each displacement d above. This value shall be entered as the uncertainty due to extrapolation, interpolation and integration in the corresponding row and column of Table 11, Table 12 and Table 13, and a rectangular probability distribution shall be used.
- h) Record the following parameters used to estimate the zoom-scan uncertainty:
 - the dimension of the grid used to sample the reference functions both in terms of number of points and sample steps in the three dimensions;
 - the number of interpolation points included between two test points, or the interpolation resolution in the three directions, for the reference functions.
 - the dimension of the extrapolation region, i.e. the distance between the probe sensor location at the first measurement point and the phantom surface (measurement point is behind the probe tip);
 - the interpolation, extrapolation and averaging algorithms used.

The computational conditions (such as the number of grid points, the grid increments, and the number of interpolation points in the three directions) shall be the same for all the functions.

7.2.10.4 Evaluation of curved surfaces

The procedures in 7.2.10.3 assume that the tissue-equivalent liquid and phantom boundary is planar. However, the uncertainty estimated with these functions for flat tissue-equivalent liquid and phantom boundaries is also valid for smooth curved surfaces, provided that the four side faces are parallel to the line normal to the phantom at the centre of the cube face next to the phantom surface. The fact that the function is based on a flat surface does not impose any restrictions with respect to applicability for the test provided the procedure is based on equivalent distances of the grid from surfaces. This produces the averaging volumes as illustrated in Figure 10. However, the uncertainty estimated with these functions for flat tissue-equivalent liquid and phantom boundaries is also valid for smooth curved surfaces. Figure 10 illustrates an acceptable method for shaping the cube during SAR post-processing. The front face of the volume facing the phantom/liquid interface conforms to the curved boundary, to ensure that all SAR peaks are captured. The back face shall be equally distorted to maintain the correct averaging mass.

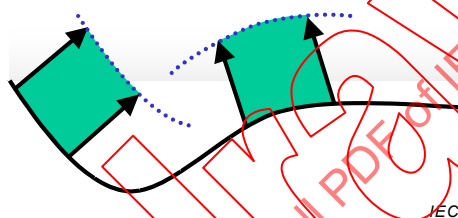


Figure 10 – Orientation and surface of the averaging volume relative to the phantom surface

7.2.11 SAR scaling uncertainty

Uncertainties of the SAR scaling (see 6.2.3.5) as a function of SAR level are associated with non-linearities of the signal and RF amplifier stages, the modulation signal bandwidth and antenna impedance.

For the SAR scaling uncertainty, a rectangular probability distribution shall be assumed. The uncertainty is evaluated by determination of the SAR of mod_Y at the peak spatial-average SAR location (x_p, y_p, z_p) using the following procedure:

- Perform an area scan with mod_X according to 6.4.2.
- Move the probe to the peak location of the area scan.
- Take the SAR reading at the peak location with mod_X .
- Switch the device to mod_Y (without moving the device).
- Take the SAR reading with mod_Y .
- Calculate the ratio of the measured and scaled SAR_{mod_Y} using Formula (62):

$$SAR_{\text{scaling uncertainty}} = \left(\frac{SAR(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}_Y}}{SAR(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}_X} \cdot R_p} - 1 \right) \times 100\% \quad (62)$$

with R_p as the time-averaged RF output power ratio of mod_X and mod_Y according to 6.2.3.5.

If $SAR_{\text{scaling uncertainty}} > 5\%$ do not use the scaling, perform the full SAR assessment for mod_Y .

7.2.12 Deviation of experimental sources

The *system validation* sources in Annex G are well defined and were simulated to obtain numerical reference values using validated numerical codes. However, the mechanical and electrical uncertainties of the specific source affect the resulting peak spatial-average SAR values, e.g. different feed-point impedance and current distribution as function of distance, phantom shell, liquid, etc. In other words, the numerical target values are valid for the specific sources and set-up configuration requirements. The deviation from the target values shall be determined either by Type A or Type B evaluations. Type A evaluations should use statistical evaluation of several measurements using different liquids, probes, and phantoms. For Type B evaluations, all parameters need to be assessed experimentally. Numerical target values are established by numerical simulations and validated laboratory calibration.

For the waveguide source, Table 8 provides the contributions to the deviations of the waveguide source from theory.

Table 8 – Uncertainties relating to the deviations of the parameters of the standard waveguide source from theory

Symbol	Source of uncertainty	Value ($\pm$ %)	Probability distribution	Divisor	c_i 1 g/10 g	u_i $\pm$ %	v_i
ΔTE_{01}	Variation from theoretical waveguide mode in liquid	5,0	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	2,9	∞
L, W	Waveguide dimensions	1,0	Normal	1	1	1,0	∞
u_c	Combined uncertainty		RSS		$\pm$	3,1	∞

For the dipole source, contributions to the deviation of experimental dipoles from theory include variations in the physical parameters described in Annex G.

The combined uncertainty from the deviations in experimental sources from theory is entered into Table 12 and Table 13 with an assumed normal probability distribution.

7.2.13 Other uncertainty contributions when using *system validation* sources

In addition to the uncertainty terms for the *system validation* source discussed elsewhere, there are additional terms to be added in the uncertainty budget. These terms depend on the type of *system validation* source used. These terms depend on the type of *system validation* source used. For a dipole source, such a term can be the distance of the dipole axis to the liquid, and for a waveguide source, such a term can be the mismatch error. Table 9 and Table 10 show the uncertainty terms for the dipole source and the waveguide source, respectively. The expanded measurement uncertainty for Table 10 shall be within ± 10 % for $k = 2$. These additional uncertainty terms are entered into the "Other source contributions" row of Table 12 and Table 13.

NOTE 1 The numerical values in Table 9 and Table 10 are examples only and should not be assumed to represent the values for specific sources.

NOTE 2 The waveguide is placed directly against the phantom, as described in Annex G. Therefore, no uncertainty term is needed to account for the distance to the phantom, as with the dipole antenna.

Table 9 – Other uncertainty contributions relating to the dipole sources described in Annex G.

Source of uncertainty	Value (± %)	Probability distribution	Divisor	c_i	u_i (± %)	v_i
Dipole axis to liquid distance	2,0	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	1,2	∞

Table 10 – Other uncertainty contributions relating to the standard waveguide sources described in Annex G

Source of uncertainty	Value (± %)	Probability distribution	Divisor	c_i	u_i (± %)	v_i
Mismatch error for system ^a	5,0	U-shaped	$\sqrt{2}$	1	3,5	∞
Uncertainty in measurement of power transmission loss of adapter and waveguide.	1,0	Normal	2	1	0,5	∞
Combined uncertainty		RSS		$\pm$	3,5	∞

^a This is calculated for 8 dB return loss to the waveguide, 30 dB return loss for the power sensor, and 25 dB return loss for the output port of the coupler.

7.3 Calculation of the uncertainty budget

7.3.1 Combined and expanded uncertainties

The contributions of each component of uncertainty shall be recorded with description, probability distribution, sensitivity coefficient and uncertainty value. A recommended tabular form is shown in Table 11. The combined standard uncertainty u_c shall be estimated according to the following Formula (63):

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2} \quad (63)$$

where c_i is the sensitivity coefficient, and u_i is the standard uncertainty. The expanded uncertainty U shall be estimated using a confidence interval of 95 %.

7.3.2 Maximum expanded uncertainty

The expanded uncertainty with a confidence interval of 95 % shall not exceed 30 % for peak spatial-average SAR values in the range from 0,4 W/kg to 10 W/kg.

If the actual measurement uncertainty (unc_{meas}) is not within ± 30 %, the reported psSAR ($psSAR_{corrected}$) may need to take into account the percentage difference between the actual uncertainty and the ± 30 % target value by

$$psSAR_{corrected} = psSAR_{meas} (1 + unc_{meas} - 0,3) \text{ for } unc_{meas} > 0,3 \quad (64)$$

where $psSAR_{meas}$ is the measured peak spatial average SAR value. Note that linearity and noise level have to be verified beyond the values above due to the required signal-to-noise ratio and to the large peak-to-average ratio for some of the communication signals.

For 1 g peak spatial-average SAR values outside of the 0,4 W/kg to 10 W/kg range, additional procedures and considerations, not included here, may be required to achieve an uncertainty no greater than 30 %, as is recommended for measured values within that range. In all cases,

the measurement uncertainty shall accompany the measured SAR results in the test report. The expanded measurement uncertainty for Table 13 shall be within $\pm 10\%$ for $k = 2$.

Table 13 shows the reproducibility for a *system check* (see Clause D.2). The reproducibility of the *system check* takes into account the variation in *system check* measurements over time on the same measurement system or several systems of the same type and manufacturer. It gives an indication that the system operates within its specifications. High drift system failure and operator errors can be easily detected if the deviation from the target value of the dipole during the *system check* is higher than the reproducibility of the *system check* uncertainty.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Withd 2016

Table 11 – Example of measurement uncertainty evaluation template for handset SAR test

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Measurement system									
Probe calibration	Annex B	4,8	N	1	1	1	4,8	4,8	∞
Axial isotropy	7.2.2.2	4,7	R	√3	√0,5	√0,5	1,9	1,9	∞
Hemispherical isotropy	7.2.2.2	9,6	R	√3	√0,5	√0,5	3,9	3,9	∞
Boundary effect	7.2.2.5	8,3	R	√3	1	1	4,8	4,8	∞
Linearity	7.2.2.3	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
Detection limits	7.2.2.3	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Modulation response	7.2.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Readout electronics	7.2.2.6	1,0	N	1	1	1	1,0	1,0	∞
Response time	7.2.2.7	0,8	R	√3	1	1	0,5	0,5	∞
Integration time	7.2.2.8	1,4	R	√3	1	1	0,8	0,8	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Probe positioner mechanical tolerance	7.2.3.1	0,4	R	√3	1	1	0,2	0,2	∞
Probe positioning with respect to phantom shell	7.2.3.2	2,9	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Post-processing	7.2.10	3,9	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Test sample related									
Test sample positioning	7.2.5.3	6,0	N	1	1	1	6,0	6,0	11
Device holder uncertainty	7.2.5.2	5,0	N	1	1	1	5,0	5,0	7
SAR drift measurement	7.2.8	5,0	R	√3	1	1	2,9	2,9	∞
SAR scaling	7.2.11	2,0	R	√3	1	1	1,2	1,2	∞
Phantom and set-up									
Phantom uncertainty (shape and thickness uncertainty)	7.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Liquid conductivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	1,7	R	√3	0,78	0,71	0,8	0,7	∞
Liquid conductivity (measured)	7.2.6.3, 7.2.6.5	5,5	N	1	0,78	0,71	4,3	3,9	5
Liquid permittivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	2,7	R	√3	0,23	0,26	0,4	0,4	∞
Liquid permittivity (measured)	7.2.6.4, 7.2.6.5	2,9	N	1	0,23	0,26	0,7	0,8	5
Combined standard uncertainty			RSS				13,9	13,7	136
Expanded uncertainty (95 % confidence interval)			k = 2				27,8	27,5	

The component values in this table are for example only and are not intended to represent the measurement uncertainty of any specific SAR test system. The measurement uncertainty for a specific handset tested with a specific SAR test system shall be individually evaluated.

NOTE 1 Column headings *a* to *k* are given for reference.

NOTE 2 Abbreviations used in this table:

- a) RSS – root sum square;
- b) N, R, U – normal, rectangular, U-shaped probability distributions;
- c) Div. – divisor used to get standard uncertainty.

NOTE 3 The uncertainty components indicated in this table are based on the test procedures and protocols developed for this Standard. When test protocols and procedures vary, different uncertainty components may apply, e.g. parameters defined for testing other phantom configurations and device positions.

NOTE 4 The divisor is a function of the probability distribution.

NOTE 5 c_i is the sensitivity coefficient that is applied to convert the variability of the uncertainty component into a variability of SAR.

NOTE 6 See 7.1.3 for discussions on degrees of freedom (ν_i) for standard uncertainty and effective degrees of freedom (ν_{eff}) for the expanded uncertainty.

NOTE 7 The numbers in in Column *k* correspond to the number of tests (*M* or *N* in the respective clauses).

NOTE 8 Use rectangular distribution and $\nu_i = \infty$ when device holder uncertainty is from a single device test.

NOTE 9 Some of the uncertainty influence quantities may be estimated from performance specifications provided by the equipment manufacturers; the uncertainty of certain other components that vary from test to test may need to be estimated for each measurement.

Table 12 – Example of measurement uncertainty evaluation template for system validation

a	b	c	d	e = $f(d,k)$	f	g	$h =$ $c \times f / e$	$i =$ $c \times g / e$	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty $\pm \%$	Probability distribution	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)	Standard uncertainty $\pm \%$ (1 g)	Standard uncertainty $\pm \%$ (10 g)	v_i or v_{eff}
Measurement system									
Probe calibration	Annex B	4,8	N	1	1	1	4,8	4,8	∞
Axial isotropy	7.2.2.2	4,7	R	$\sqrt{3}$	1	1	2,7	2,7	∞
Hemispherical isotropy	7.2.2.2	9,6	R	$\sqrt{3}$	0	0	0,0	0,0	∞
Boundary effect	7.2.2.5	8,3	R	$\sqrt{3}$	1	1	4,8	4,8	∞
Linearity	7.2.2.3	4,7	R	$\sqrt{3}$	1	1	2,7	2,7	∞
Detection limits	7.2.2.3	1,0	R	$\sqrt{3}$	1	1	0,6	0,6	∞
Modulation response	7.2.2.4	0	R	$\sqrt{3}$	0	0	0,0	0,0	∞
Readout electronics	7.2.2.6	1,0	N	1	1	1	1,0	1,0	∞
Response time	7.2.2.7	0,8	R	1	0	0	0,0	0,0	∞
Integration time	7.2.2.8	1,4	R	$\sqrt{3}$	0	0	0,0	0,0	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	3,0	R	$\sqrt{3}$	1	1	1,7	1,7	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	3,0	R	$\sqrt{3}$	1	1	1,7	1,7	∞
Probe positioner mechanical tolerance	7.2.3.1	0,4	R	$\sqrt{3}$	1	1	0,2	0,2	∞
Probe positioning with respect to phantom shell	7.2.3.2	2,9	R	$\sqrt{3}$	1	1	1,7	1,7	∞
Post-processing	7.2.10	3,9	R	$\sqrt{3}$	1	1	2,3	2,3	∞
System validation source									
Deviation of experimental source from numerical source	7.2.12	5,0	N	1	1	1	5,0	5,0	∞
Input power and SAR drift measurement	7.2.8	4,7	R	$\sqrt{3}$	1	1	2,7	2,7	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Other source contributions	7.2.13	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Phantom and set-up									
Phantom uncertainty (shape and thickness uncertainty)	7.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Liquid conductivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	1,7	R	√3	0,78	0,71	0,8	0,7	∞
Liquid conductivity (measured)	7.2.6.3, 7.2.6.5	5,5	N	1	0,78	0,71	4,3	3,9	5
Liquid permittivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	2,7	R	√3	0,23	0,26	0,4	0,4	∞
Liquid permittivity (measured)	7.2.6.4, 7.2.6.5	2,9	N	1	0,23	0,26	0,7	0,8	5
Combined standard uncertainty			RSS				11,7	11,5	276
Expanded uncertainty (95 % confidence interval)			k = 2				23,4	23,1	

The component values in this table are for example only and are not intended to represent the measurement uncertainty of any specific SAR test system. The measurement uncertainty for a specific handset tested with a specific SAR test system shall be individually evaluated.

See NOTES 1 to 9 in Table 11.

NOTE 10 All sources of uncertainty in Table 12 and Table 13 are applicable for system validation and system check testing. Here the three entries in the group "Test sample related" are replaced by a group labelled "System validation source" or "System check source" which contains three influence quantities described as: "Deviation between experimental dipoles", "Input power and SAR drift measurement" and "Other source contributions".

NOTE 11 The source uncertainty examples in Table 12 and Table 13 are specific to dipole antenna sources. If other sources are used, the uncertainty values will be different, as explained in 7.2.13.

Table 13 – Example of measurement repeatability evaluation template for system check (applicable for one system).

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Measurement system									
Probe calibration drift	a	2,0	N	1	1	1	2,0	2,0	∞
Axial isotropy	7.2.2.2	4,7	R	√3	0	0	0	0	∞
Hemispherical isotropy	7.2.2.2	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Boundary effect	7.2.2.5	8,3	R	√3	0	0	0	0	∞
Linearity	7.2.2.3	4,7	R	√3	0	0	0	0	∞
Detection limits	7.2.2.3	1,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Modulation response	7.2.2.4	4,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Readout electronics	7.2.2.6	1,0	N	1	0	0	0	0	∞
Response time	7.2.2.7	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Integration time	7.2.2.8	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	3,0	R	√3	0	0	0	0	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	3,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Probe positioner mech. tolerance	7.2.3.1	0,4	R	√3	1	1	0,2	0,2	∞
Probe positioning with respect to phantom shell	7.2.3.2	2,9	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Post-processing	7.2.10	3,9	R	√3	0	0	0	0	∞

[illegible]

7.4 Uncertainty of fast SAR methods based on specific measurement procedures and post-processing techniques

7.4.1 General

One class of fast SAR methods is based on measurements made by equipment that conforms to the requirements of this International Standard but special techniques are applied in order to improve the measurement speed. For the above class of fast SAR methods, the uncertainty shall be determined following 7.4.2.

7.4.2 Measurement uncertainty evaluation

7.4.2.1 General

Two uncertainty budgets are presented in 7.4.2.

- a) Table 14 is the uncertainty budget to be used when a fast SAR method is applied. When relative assessments are conducted fixed offsets shall be included in the uncertainty. Also, fixed offsets that are specific to frequency and operating mode (e.g. offsets due to calibration uncertainty and modulation) shall be included.
- b) Table 15 is the uncertainty budget for the *system check* for fast SAR assessments. This uncertainty budget is very similar to the uncertainty budget of Table 13.
- c) The measurement uncertainty for a fast SAR measurement is based on the relative values, for reasons explained above. All uncertainty contributions affecting the relative levels of the peak spatial-average SAR shall be computed in a rigorous way, using statistical techniques presented in Clause 7 where appropriate. A description of the procedures used in the evaluations of uncertainty contributions shall be included in the measurement report. The measurement uncertainty budget described in Table 14 is the relative uncertainty of the measured SAR value for one test configuration compared to the measured SAR of the other test conditions that have been measured using the same hardware and method using the same tissue-equivalent liquid dielectric parameters. To practically achieve the last requirement, maximum liquid temperature variations shall be those specified in 5.1.

The following uncertainty terms are considered to be negligible for the relative uncertainty of fast SAR measurements used within the same frequency band and modulation. These uncertainty terms have a weighting coefficient of $c_i = 0$ in Table 14.

- **Probe calibration:** This term is negligible if the same probe is used for all fast SAR tests, and the calibration uncertainty represents a fixed offset for a probe with a given modulation and frequency band.
The same probe shall be used for all tests if a zero contribution of the probe calibration uncertainty is assumed in Table 14.
- **Response time:** For relative assessments, the deviation in measured SAR due to a fixed time spent by the probe at a measurement location is the same, so this term may be neglected.
- **RF ambient conditions due to reflections:** The influence of reflections is the same if the fast SAR measurements are made in the same laboratory under the same conditions and at the same measurement frequency.
- **SAR scaling:** This term is negligible since the same modulation is used for fast SAR measurements, which are grouped for each specific modulation at the beginning of the fast SAR procedures.
- **Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity:** If the same tissue-equivalent liquid is used and fulfils the requirements specified in 5.1 over the duration of all of the fast SAR tests, then this term is negligible.
- **Liquid conductivity measurement:** The uncertainty in liquid dielectric parameter measurement is negligible if the same dielectric parameters are used for all tests since fast SAR assessment is a relative assessment.

- **Liquid permittivity measurement:** This term is also negligible for the same reason as above.
- **Liquid conductivity – temperature uncertainty:** The same liquid and liquid temperature are used for fast SAR testing, so this uncertainty term is negligible.
- **Liquid permittivity – temperature uncertainty:** This term is negligible for the same reason as previously described.

NOTE Some of the uncertainty terms are considered to be the same as those presented in Table 11. These are limited to those uncertainty terms that are related to the differences in the measurement time and the measured points used in fast SAR tests from full SAR tests. Evaluation of these terms is described in the appropriate subclause of Clause 7, as indicated in Table 14.

- **Axial and hemispherical isotropy:** This term is applicable since the field polarization incident on the probe is different at different measurement locations.
- **Boundary effect:** The requirements of the distance of the probe tip to the phantom shell are the same and are measured at the same frequency, so the uncertainty term described in 7.2.2.5 shall be applied, but the penetration depth used to determine the uncertainty shall be set according to the measurement frequency.
- **Linearity:** This term is applicable since the range of SAR levels measured during different fast SAR tests are different.
- **System detection limits:** This uncertainty term is applicable for the same reasons as for linearity uncertainty.
- **Modulation response:** This term can be a strong function of SAR level and modulation. If the same probe is used for all fast SAR measurements, the probe response to the same modulation is the same. However, the range of SAR levels measured by the fast SAR method varies from one test to another. Therefore, this term shall be applied.
- **Integration time:** This uncertainty term is due to deviations in capturing the signal modulation over a fixed measurement time, and it varies from point to point. The same procedures are applicable to determine the integration time uncertainty for fast SAR measurements as for full SAR measurements.
- **RF ambient conditions due to noise:** Noise present during the measurement is applicable for all measurements.
- **Probe positioner mechanical uncertainty:** Deviations in the probe positioning result in random fluctuations in the readings, and this is applicable for relative as well as absolute SAR measurements.
- **Repeatability of probe positioning with respect to phantom shell:** The probe positioning repeatability is applicable for fast SAR testing for the same reasons explained above.
- **Test sample positioning:** This term applies since the DUT positioning variability is present between different fast SAR tests.
- **Device holder uncertainty:** This term applies for the same reason as for test sample positioning uncertainty.
- **Output power variation (SAR drift):** The drift of the output power of the device during fast SAR tests shall be applied. The value of this term may be lower than that for full SAR testing, due to the shorter measurement time.
- **Phantom shell uncertainty:** If the same phantom shell is used for all fast SAR measurements, the full phantom shell uncertainty described in 7.2.4 does not apply. However, for the same phantom shell, the thickness can deviate from one location to another. Therefore, the distance a used in Formulas (34) and (35) shall be applied according to the maximum thickness deviation expected for a phantom shell, according to information supplied by the phantom manufacturer. The deviation term of the shell permittivity in Formula (35) is not applied, since any spatial variations in the permittivity of the same phantom shell are expected to have a negligible impact on SAR.

In addition, there are two additional uncertainty terms applied for fast SAR testing:

- **Spatial resolution (x - and y -directions):** described in 7.4.2.2.

– **Post-processing of measurement data:** described in 7.4.2.3.

The relative uncertainty budget is shown in Table 14. It is possible that the relative uncertainty of a fast SAR system is lower than the measurement uncertainty of a full SAR system, due to the presence of zero terms in some rows of Table 14.

Additional terms are added to account for the post-processing of the SAR measurement results related to the fast SAR method employed. These terms are dependent on the specifics of the fast SAR system used (e.g. whether it uses a regular grid with fewer points, whether an irregular grid is used, whether points in the z -direction are used, or a combination of these), and on how the peak spatial-average SAR is estimated from the measured values (e.g. interpolation, extrapolation, averaging). Fast SAR methods falling into the class described in 6.6 are based on measurements at points which are different from those in the area and/or zoom scans described in 6.4. The post-processing uncertainty contributions are affected in the uncertainty budget, since fast SAR methods considered in 6.6 usually change the positions of the measurement points and use a reduced number of measurement points. The coarser the grid resolution, the higher the measurement uncertainty term related to spatial resolution, as explained in 7.4.2.2. The data post-processing to estimate the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR shall hence be evaluated in a way which is specific to the chosen fast SAR method. The evaluation of uncertainty contributions shall include analysis of the extrapolation, interpolation and integration terms used to determine peak spatial-average SAR, using methods (i.e. the definition of appropriate analytical functions) that may be conceptually similar to those presented in 7.2.10. The post-processing uncertainty shall be based on theoretical worst-case considerations. Typically, the developer of the fast SAR method determines the measurement uncertainty.

Given that the measurement resolution of a fast SAR system may not conform to all of the normative requirements provided for the area scan and/or the zoom scan, the uncertainty term for extrapolation, interpolation and integration algorithms used for full SAR testing is replaced with separate terms for the spatial resolution and the post-processing, as described below.

7.4.2.2 Spatial resolution (x - and y -directions)

The use of modified area and zoom scans is expected to introduce additional uncertainties in identifying the peak SAR locations. As described in Clause D.4, the range of SAR distributions and frequencies that are supported by the fast SAR method shall be provided as a result of the fast SAR method validation. These SAR distributions may differ from the reference functions described in 7.2.10.2. Moreover, the distributions supported by the fast SAR method may vary in the x - and y -directions.

The SAR distributions in the x - and y -directions are in general given by the functions $f_x(x)$ and $f_y(y)$ in Formulas (65) and (66), respectively.

$$f_x(x) = A_x \exp \left[-\frac{(x - d_x)^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (65)$$

$$f_y(y) = A_y \exp \left[-\frac{(y - d_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad (66)$$

In the above formulas, A_x and A_y are normalization amplitudes of the same value ($A_x = A_y$), while, σ_x and σ_y are constants for the spatial gradients in the x - and y -directions, respectively. The terms d_x and d_y are the coordinates of the peak SAR location.

The procedure for evaluating the uncertainty due to the spatial resolution in the x (or y) direction is as follows.

- a) Determine the range of values of σ_x [or σ_y] from the range of SAR distributions applicable to the fast SAR method (this value may be provided by the fast SAR method developer). For each value of σ_x [or σ_y], follow Steps b) to f).
- b) For each value of d_x [or d_y] ranging in 1 mm steps from 0 to $\max(\Delta x)/2$ [or $\max(\Delta y)/2$], i.e. half the largest measurement resolution of the fast SAR system, follow Steps c) to f).
- c) Sample the function $f_x(x)$ [or $f_y(y)$] at points corresponding to the measurement resolution Δx [or Δy] of the fast SAR system.
- d) Interpolate the evaluated points according to the interpolation resolution and the interpolation functions used by the fast SAR method.
- e) Apply mass averaging according to the algorithm used by the fast SAR method and find the peak spatial-average value over 10 mm and 21,5 mm (corresponding to the length of 1 g and 10 g cubes, respectively).
- f) Compare each of the two peak spatial-average values calculated in Step e) with the analytic value of the integral of Formulas (65) or (66) over the averaging cube (or the value computed for 1 mm sampling resolution of the two functions) and determine the percentage error between them.
- g) Record the highest of all of the errors found in Step f) as the uncertainty, with a rectangular distribution.

7.4.2.3 Post-processing of measurement data

This uncertainty term accounts for additional post-processing errors not covered previously in 7.4.2.2, such as extrapolation to the phantom surface, noise and deviations due to any predictions of the SAR decay in the z -direction. The SAR decay in the z -direction is generally easier to predict than the SAR distribution in the x - and y -directions. For this reason, some fast SAR methods reduce the number of points measured in the z -direction to reduce the measurement time. The SAR decay in the z -direction may be estimated from limited measurements or pre-determined from previous analysis based on measurement parameters.

To evaluate the post-processing uncertainty, the reference function $f_z(z)$ is used, as shown in Formula (67), where δ is the penetration depth (see 3.21 for the definition), A is the amplitude of the signal (set to 1 W/kg), $N_{\text{rms}} = 0,1 \text{ W/kg}$ is the variance in the system noise and $\text{rnd}(\zeta)$ is a normally-distributed random number generator with a mean of zero and a standard deviation of one. The variable ζ is an arbitrary seed. Note that the function f_z shall be evaluated at least 4 000 times in order to determine its standard deviation as a function of the noise.

$$f_z(z) = A \exp[-2z/\delta] + N_{\text{rms}} \text{rnd}(\zeta) \quad (67)$$

The procedure for evaluating the uncertainty due to the spatial resolution in the z -direction is as follows.

- a) Determine the range of values of δ from the range of SAR distributions applicable to the fast SAR method (this value may be provided by the fast SAR method developer). For each value of δ , follow Steps b) to e).
- b) If the fast SAR method uses measurements in the z -direction, do the following:
 - 1) sample the function $f_z(z)$ at points corresponding to the measurement resolution and minimum distance d_{be} (as defined in 7.2.10.3.2) of the fast SAR system;
 - 2) extrapolate the measured values to the phantom inner surface ($z = 0$);
 - 3) interpolate the evaluated points according to the interpolation resolution and the interpolation functions used by the fast SAR method.
- c) If the fast SAR method uses a SAR decay function instead of measurements in the z -direction, use this function to represent the SAR decay over the range $0 \leq z \leq 21,5 \text{ mm}$.
- d) Calculate the average value of the interpolated values from Step b) or the pre-determined decay function in Step c) over $L = 10 \text{ mm}$ and $L = 21,5 \text{ mm}$, using the averaging method used by the fast SAR method.

- e) Compare each of the two peak spatial-average values calculated in Step d) with the value calculated from Formula (68) and determine the percentage error between them.

$$f_z(z) = A_z \left(\frac{\delta}{2} \right) (1 - \exp[-2L/\delta]) \quad (68)$$

- f) Record the highest of all of the errors found in Step e) as the uncertainty, with a rectangular distribution.

The expanded uncertainty for relative fast SAR tests, with a confidence interval of 95 %, shall not exceed 30 % for peak spatial-average SAR values in the range from 0,4 W/kg to 10 W/kg.

Withd 2016
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Table 14 – Measurement uncertainty budget for relative fast SAR tests

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Measurement system									
Probe calibration	Annex B	-	N	1	0	0	-	-	∞
Isotropy (axial and hemispherical)	7.2.2.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Boundary effect	7.2.2.5	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Linearity	7.2.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Detection limits	7.2.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Modulation response	7.2.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Readout electronics	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Response time	7.2.2.7	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Integration time	7.2.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	-	R	√3	1	1	-	-	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Probe positioner mechanical tolerance	7.2.3.1	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Probe positioning with respect to phantom shell	7.2.3.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, x-direction	7.4.2.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, y-direction	7.4.2.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Post-processing of measurement data	7.4.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Test sample related									
Test sample positioning	7.2.5	-	N	1	1	1	-	-	∞
Device holder uncertainty	7.2.5.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
SAR drift measurement	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
SAR scaling	7.2.11	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Phantom and set-up									
Phantom uncertainty (shape and thickness uncertainty)	7.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	-	N	1	0	0	-	-	∞
Liquid conductivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Liquid conductivity (measured)	7.2.6.3, 7.2.6.5	-	N	1	0	0	-	-	5
Liquid permittivity (temperature uncertainty)	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Liquid permittivity (measured)	7.2.6.4, 7.2.6.5	-	N	1	0	0	-	-	5
Combined standard uncertainty			RSS						v _{eff}
Expanded uncertainty (95 % confidence interval)			k = 2						

The relative uncertainty budget for the system check performed using a fast SAR method is shown in Table 15. The uncertainty terms that can be neglected have weighting coefficients of v_i = 0.

Table 15 – Measurement uncertainty budget for system check using fast SAR methods

a	b	c	d	e = $f(d, k)$	f	g	h = $c \times f / e$ Standard uncertainty $\pm \%$ (1 g)	i = $c \times g / e$ Standard uncertainty $\pm \%$ (10 g)	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty $\pm \%$	Probability distribution	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)	Standard uncertainty $\pm \%$ (1 g)	Standard uncertainty $\pm \%$ (10 g)	v_i or v_{eff}
Measurement system									
Probe calibration drift ($k = 1$)	K.2.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
Isotropy	7.2.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Boundary effect	7.2.2.5	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Linearity	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
System detection limits	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Modulation response	7.2.2.4	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Readout electronics	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Response time	7.2.2.7	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Integration time	7.2.2.8	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Probe positioner mechanical tolerance	7.2.3.1	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Probe positioning with respect to phantom shell	7.2.3.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, x-direction	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Spatial resolution, y-direction	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Post-processing of measurement data	7.4.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
System check source									
Deviation between experimental sources	7.2.12	-	N	1	0	0	-	-	7
Input power and SAR drift measurement	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Other source contributions	7.2.13	-	N	1	1	1	-	-	∞
Phantom and tissue parameters									
Phantom shell uncertainty – shape, thickness, and permittivity	7.2.4	-	R	√3		1			∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Liquid conductivity measurement	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	N	1	0,78	0,71	-	-	5
Liquid permittivity measurement	7.2.6.3, 7.2.6.5	-	N	1	0,23	0,26	-	-	5
Liquid conductivity – temperature uncertainty	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0,78	0,71	-	-	∞
Liquid permittivity – temperature uncertainty	7.2.6.4, 7.2.6.5	-	R	√3	0,23	0,26	-	-	∞
Combined standard uncertainty			RSS				-	-	1
Expanded uncertainty (95 % confidence interval)			k = 2				-	-	

8 Measurement report

8.1 General

All test results shall be recorded in a measurement report and shall include all the information necessary for the interpretation of the DUT configurations tested, calibration performed and all information required by the method and instrumentation used.

A measurement report compliant with ISO/IEC 17025 and including as a minimum the items listed below will demonstrate compliance with this Standard.

8.2 Items to be recorded in the measurement report

All of the information needed for performing repeatable tests, calculations, or measurements giving results within the required calibration and uncertainty limits shall be recorded. The measurement report shall include the following.

a) General introduction.

- 1) Identification of the test laboratory.
- 2) Identification of the DUT including hardware and software revision numbers, serial number, e.g. IMEI (international mobile equipment identity).
- 3) Compliance requirements, e.g. test standards, guidelines, recommendations, etc.
- 4) Exposure limits applicable, e.g. ICNIRP, IEEE/ICES, etc.
- 5) A list of any accreditations provided by national or international bodies to perform testing to the standards listed in 3). This shall include the date of expiry.

b) Measurement system (for SAR measurement and fast SAR measurement if used).

- 1) Measurement system main component description including positioner, liquid, readout electronics, device holder, phantom(s) and any other relevant components.

For the probe(s) used, include

- dimensions,
- isotropy,
- spatial resolutions,
- dynamic range,
- linearity

- 2) Calibration data for relevant components including critical fast SAR measurement system components, e.g. probe calibration certificates, shall be provided in the measurement report.
- 3) Description of the interpolation and extrapolation algorithms used in the area scans and/or zoom scans shall be documented in the test report.
- 4) Dielectric liquid(s) and materials used and characteristics.

For each tissue-equivalent liquid or material used, include

- dielectric properties for each frequency band,
- deviation from target value,
- liquid temperature,
- composition summary of the tissue-equivalent liquids.

- 5) Results of *system check*.

- Measurement results for each frequency band.
- Deviation from the SAR target value.
- Radiating source description.

- c) Uncertainty estimation (*system check* for SAR measurement, *system validation* and fast SAR measurement if used).
 - 1) To include measurement uncertainty values from Table 11, Table 12, Table 13, Table 14 and Table 15.
 - 2) Any other relevant items.
- d) Device and test details.
 - 1) Description of the form factor of the DUT and a brief description of its intended function.
 - 2) Description of the positions and orientations to be tested, including photos, and rationale for any test reductions.
 - 3) Description of the available and tested antenna(s) and accessories, including batteries.
 - 4) Description of the available and tested operating modes, power levels and frequency bands and rationale for any test reductions.
 - 5) Testing environmental condition, e.g. temperature.
 - 6) Results of all tests performed (peak spatial-average SAR value for each test, and graphical representation of the coarse scans with respect to the device for the maximum SAR value of each operating mode) and details on scaling of the results.
- e) The measurement report shall include the following information pertaining to the validation of the SAR measurement method.
 - 1) Description of the validation procedure(s).
 - 2) Results of the computations, measurements and/or other assessments performed by the method developer in order to validate the SAR measurement method.
 - 3) Additional analyses or conditions imposed by the method developer and applied by the user to satisfy the SAR measurement method if applicable.
 - 4) Radiating source description and SAR distribution for each frequency band.
 - 5) Range of operating frequencies, modulations, device operating configurations, exposure conditions and SAR distributions for each frequency band specific to the method.
 - 6) SAR uncertainty.
 - 7) In the case of fast SAR measurements, details of any modifications to post-processing algorithms from those implemented for full SAR measurements.
- f) SAR test reduction reporting.

When test reduction procedures are applied during the SAR measurements of a DUT, the test report shall include additional information related to the following test reduction alternatives.

 - 1) Test reduction for different operating modes at the same frequency (see 6.7.2). The test report shall provide a detailed description of how the conditions of 6.7.2 have been met.
 - 2) Test reduction based on characteristics of the DUT design (see 6.7.3). The test report shall include drawings or photographs illustrating the layout and locations of antennas in a handset and describing the wireless operating modes applicable to each antenna to support the test reduction and exclusion considered.
 - 3) Test reduction based on peak SAR level analysis (see 6.7.4). The test report shall include a systematic description of how the test reduction protocol described in 6.7.4 was applied for the measurements of the device under test.
 - 4) Test reduction based on simultaneous multi-band transmission considerations (see 6.7.5). The test report shall include the measured time-averaged output power and how it meets the threshold power level available, as per Formulas (18) and (19).
- g) Report summary (for all fast SAR and full SAR data).

- 1) Frequency bands and configurations.
 - i) List of all frequency bands and modulations tested using a fast/full SAR method.
 - ii) List of all test configurations assessed using a fast/full SAR method.
- 2) Tabulated SAR values over the testing positions, bands, operating modes and device configurations.
- 3) Tabular and graphical results for the highest fast SAR measurement for each frequency band and modulation.
- 4) Results of all full SAR tests performed as a result of 6.4 and 6.5, which include the peak spatial-average SAR value for each required test and graphical representation of the scans with respect to the device.
- 5) The values related to the conditions of Formulas (10) to (19) shall be documented in the test report.
- 6) A systematic rationale based on 6.6 and 6.7 for excluding full SAR measurements shall be provided.
- 7) Reference to exposure limits and a statement of compliance, or otherwise exposure limits and compliance statement.

Annex A (normative)

Phantom specifications

A.1 Rationale for the SAM phantom shape

Phantoms are essential components of electromagnetic dosimetry. While it is desirable that they emulate the anatomical details of the body part they represent, it is not always necessary or practical for them to do so. It is therefore important to define and standardize the relevant features, dimensions and material properties that affect SAR measurement.

The statistical breakdown of anatomical shapes and sizes can be obtained from anthropometric studies of human population to guide the specification of a realistic phantom shape. A 1988 anthropometric study of U.S. army personnel provides data to determine population coverage requirements for adults of different ages and ethnic groups [56]. The shape of the SAM phantom is defined by a number of lines and curves as illustrated in Figure A.1.

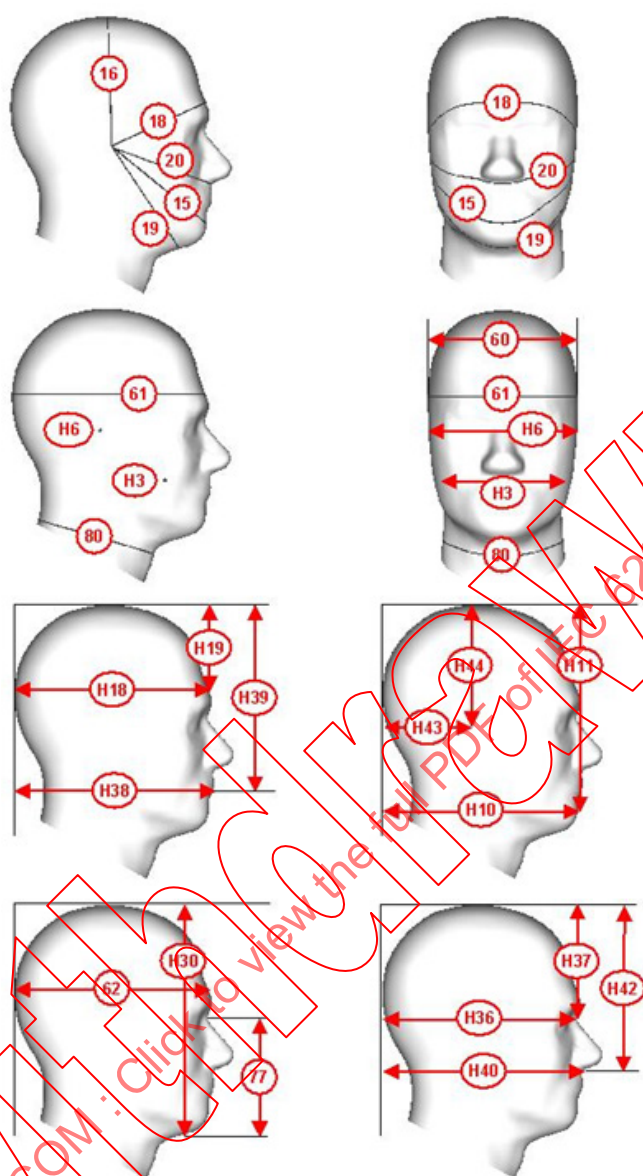
Dosimetric studies suggest that larger heads (adult, male user) couple more energy and constitute a worst case exposure scenario compared to smaller heads (children) [88], [89], [90], [139]. The upper 90th-percentile (adult male) head dimension shall be used to ensure that well over 90 % of all users have smaller heads and would therefore sustain a lower exposure.

The back ear protrusion has a direct effect on determining the closeness of the mobile device and antenna to the head and is an important parameter for determining SAR. The ear protrusion has to be adjusted to simulate the pressure of the device on the ear. The shape of the ear is a factor in positioning the mobile device and shall be designed to enable correct and reproducible positions. A study on the pinna thickness and elasticity considering adults and children showed that the SAM phantom yields a conservative exposure estimate for the head tissue [16].

A.2 SAM phantom specifications

A.2.1 General

The dimensions of the SAM phantom have been derived from selected 90th percentile male head data reported by Gordon et al. [56], and are listed in Table A.1 and shown in Figure A.1. Table A.2 shows other pertinent dimensions for comparison. At the ear reference point (ERP), a thickness of 6 mm including the 2 mm shell is selected to model the external ear (pinna). This thin ear spacer also simulates users with small ears, and gives a conservative SAR representation. A system of reference points and reference lines is used to correlate the handset positioning with the phantom (Figures A.2 and A.3). The point "M" is the mouth reference point, "LE" is the left ear reference point (ERP), and "RE" is the right ERP. The ERPs are 15 mm posterior to the entrance to ear canal (EEC) along the B-M (back-mouth) line (Figure A.2).



IEC

NOTE The dimensions in Table A.1 are used to define the SAM phantom. The dimensions in Table A.2 are measured on the SAM phantom and compared with the ARMY data.

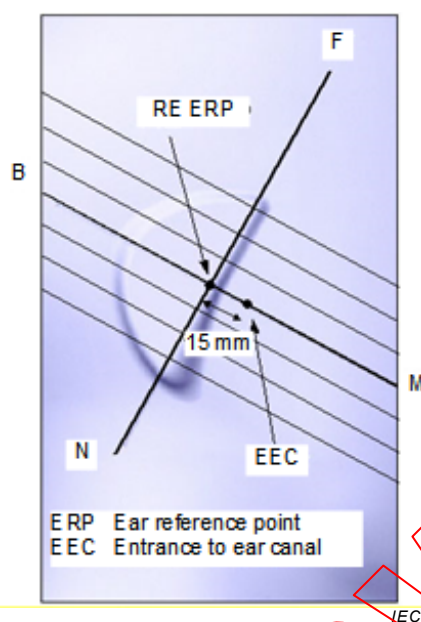
Figure A.1 – Illustration of dimensions in Table A.1 and Table A.2

Table A.1 – Dimensions used in deriving SAM phantom from the ARMY 90th percentile male head data (Gordon et al. [56])

Ref.	Anatomy	Gordon report [mm]			SAM [mm]	Deviation [%]
		Mean value	Standard deviation	90th percentile		
H15	Bitragion Chin Arc	325,8	13,4	343,1	329,3	–4,0
H16	Bitragion Coronal Arc	353,3	12,9	369,7	367,3	–0,6
H18	Bitragion Frontal Arc	304,3	10,6	318,2	314,1	–1,3
H19	Bitragion Submandibular Arc	304,2	14,5	323,2	333,5	3,2
H20	Bitragion Subnasale Arc	292	11,1	306,3	305,3	–0,3
H60	Head Breadth	151,7	5,4	158,6	158,4	–0,1
H61	Head Circumference	567,7	15,4	587,3	594,8	1,3
H62	Head Length	197,1	7,1	206	206,0	0,0
H77	Menton-Sellion Length	121,9	6,5	130,4	125,0	–4,1
H80	Neck Circumference	379,6	19,7	405,3	395,4	–2,5

Table A.2 – Additional SAM dimensions compared with selected dimensions from the ARMY 90th-percentile male head data (Gordon et al. [56]) – specialist head measurement section

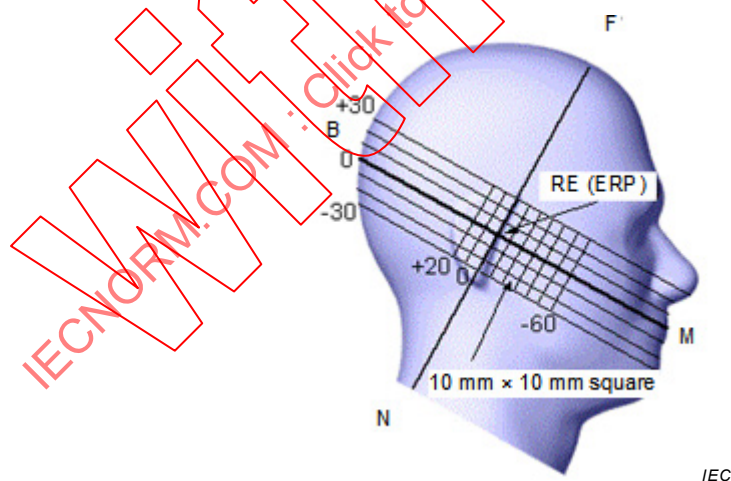
Ref.	Anatomy	Gordon report [mm]			SAM [mm]	Deviation [%]
		Mean value	Standard deviation	90th Percentile		
H3	Bigonial Breadth	118,9	7,9	129,2	130,0	0,6
H6	Bitragion Breadth	144,8	6	152,3	152,7	0,2
H10	Chin-Back of Head	194,2	10,3	207,3	206,5	–0,4
H11	Chin-Top of Head	216,8	8,9	228,3	220,4	–3,5
H18	Glabella-Back of Head	199,7	7,2	208,5	209,2	0,3
H19	Glabella-Top of Head	96,2	7,3	105,6	104,4	–1,1
H30	Menton-Top of Head	232,0	8,8	243,3	246,7	1,4
H36	Sellion-Back of Head	197	7,1	205,9	205,3	–0,3
H37	Sellion-Top of Head	112	6,9	120,9	121,7	0,7
H38	Stomion-Back of Head	199,4	9,6	211,9	211,4	–0,2
H39	Stomion-Top of Head	186,3	7,8	196,3	196,3	0,0
H40	Subnasale-Back of Head	203,5	8,3	213,6	213,0	–0,3
H42	Subnasale-Top of Head	161,9	7,7	171,8	177,6	3,4
H43	Tragion-Back of Head	98,9	8,5	106,4	106,4	0,0
H44	Tragion-Top of Head	131	5,7	138,2	138,2	0,0

**Key**

- B Direction of B-M line back endpoint
- F Direction of N-F line front endpoint
- N Direction of N-F line neck endpoint
- M Mouth reference point
- RE Right ear reference point (ERP)

Figure A.2 – Close-up side view of phantom showing the ear region

Dimensions in millimetres

**Key**

- B Line B-M back endpoint
- M Line B-M front endpoint
- N Line N-F neck endpoint
- F Line N-F front endpoint
- RE Right ear reference point (ERP)

Figure A.3 – Side view of the phantom showing relevant markings

The plane passing through the two ERPs and M is defined as the reference plane. The line N-F (neck-front), also called the reference pivoting line, is along the front truncated edge of the ear. Both N-F and B-M lines shall be marked on the external phantom shell to facilitate handset positioning. Posterior to the N-F line, the thickness of the phantom shell with the shape of an ear is a flat surface 6 mm thick at the ERPs. Anterior to the N-F line, the ear is truncated as illustrated in Figure A.2. The ear truncation is introduced to preclude unstable handset positioning at the cheek.

The projection of the reference line B-M and reference line N-F shall be marked on the phantom. Additional lines may be chosen for convenience, but the additional lines are optional. The optional markings in Figure A.3 may be etched into the external surface of the phantom without affecting the specifications.

NOTE The full-head model is shown for illustration purposes only. The procedures in this Standard are derived primarily for the phantom set-up shown in Figure A.4.

A.2.2 Phantom shell

The phantom shell with integral solid ear spacer, as specified in the SAM CAD model, shall be constructed from chemical-resistant, low-permittivity and low-loss material, with relative permittivity between 2 and 5; however, less than 2 is acceptable for frequencies up to 3 GHz. The loss tangent of the phantom shell shall be less than or equal to 0,05. It has been shown that at higher frequencies, particularly above 3 GHz, the permittivity of the phantom shell, has an increasing impact on SAR measurement uncertainty [123]. According to [123], the SAR is affected by the shell even though the shell is thin and has dielectric properties much lower than the tissue-equivalent liquid. Specifically, they showed that the variation in the SAR depends not only on the frequency, but also on the relative permittivity of the shell and the distance between the antenna and the material. It was recommended that the effects of the shell be taken into account in the higher frequency range. Therefore, uncertainty evaluation shall be conducted above 3 GHz according to 7.2.4. The shape of the phantom shell shall have a tolerance of less than $\pm 0,2$ mm with respect to the SAM CAD file. In any area within the projection of the handset, the shell thickness shall be $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, except for the ear and the extended perimeter walls (see Figure A.4). The phantom shell shall be made of materials resistive to compounds used for making tissue-equivalent liquids (e.g. those listed in Annex I), to avoid damage and preserve the $\pm 0,2$ mm tolerances. For non-critical areas, i.e. the central strip containing the nose, as shown in Figure A.5, the thickness tolerance is allowed to be within ± 1 mm.

The CAD file cross section for the reference plane is given in Figure A.6.

NOTE The CAD model is for use in the basic manufacture of the SAM phantom standard test fixture by groups having the necessary expertise and resources. Four *.igs files of inner and outer surfaces for the left and right halves extracted from the CAD model of the SAM phantom are provided with this standard at XXX. The four file names are:

- 1) sam_lft_in_6_11.igs
- 2) sam_lft_out_6_11.igs
- 3) sam_rt_in_6_11.igs
- 4) sam_rt_out_6_11.igs

Dimensions in millimetres

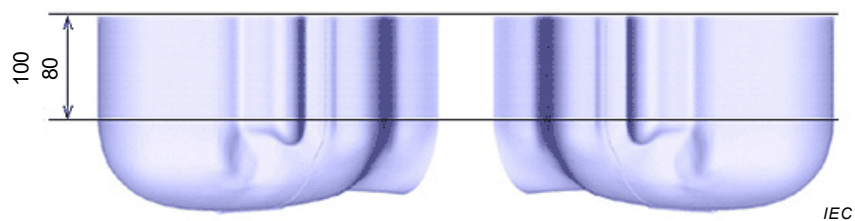


**Figure A.4 – Sagittally bisected phantom with extended perimeter
(shown placed on its side as used for device SAR tests)**

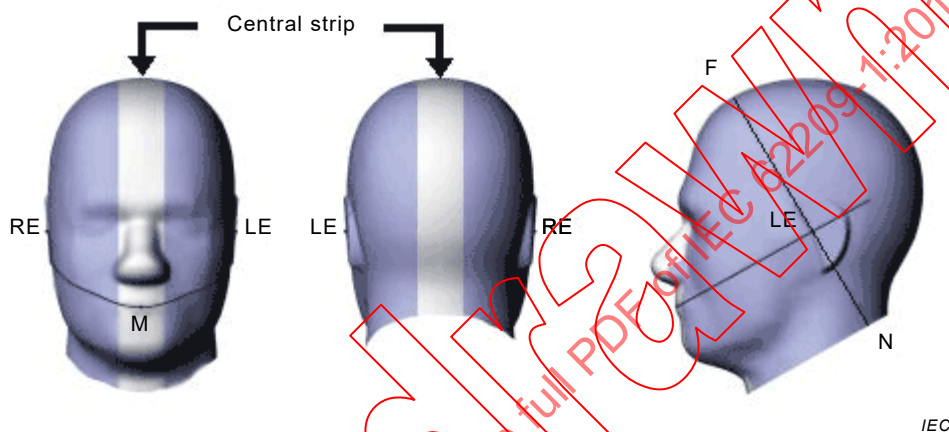


Figure A.5 – Picture of the phantom showing the central strip

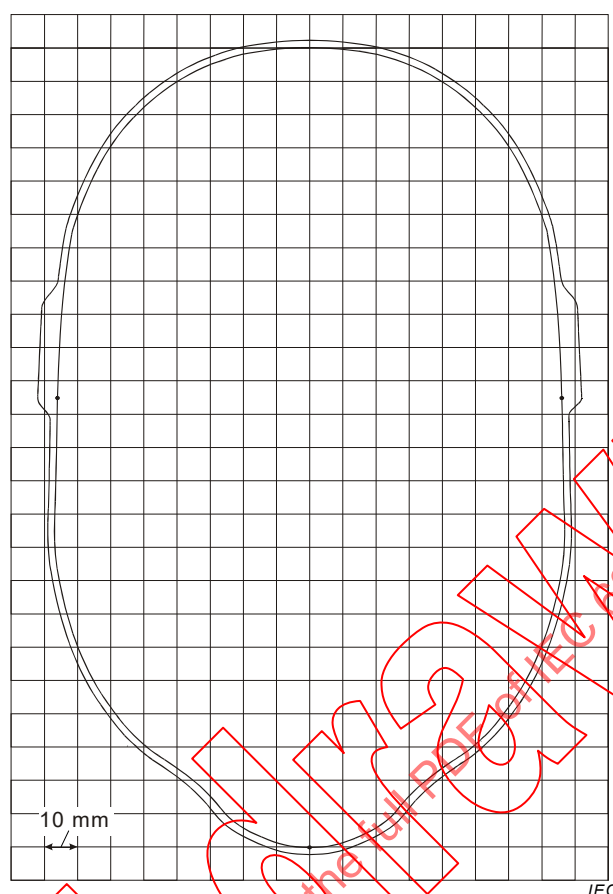


Figure A.6 – Cross-sectional view of SAM at the reference plane

A.3 Flat phantom specifications

The shell of the flat phantom shall be constructed in the form of an open-top container with a flat bottom. In this Standard, flat phantoms shall be used for *system validation* and *system check*.

Any flat phantoms used shall be large enough to allow SAR to be measured accurately using the *system validation* and *system check* sources for 1 g and 10 g peak spatial-average SAR less than 1 % influence from the phantom shape and dimensions. Minimum flat phantom dimensions are described in Annex H.

The flat phantom shall have the following shape and dimensions.

- a) Unless specified in Step b), the shape of the phantom shall be an ellipse with a length of 600 mm $\pm$ 5 mm and a width of 400 mm $\pm$ 5 mm (see Figure A.7).
- b) For frequencies above 300 MHz, phantoms with other shapes and smaller dimensions are allowed as follows:
 - between 300 MHz and 800 MHz, the phantom flat bottom wall may have any shape that encompasses an ellipse with a length of $0,6 \lambda_0$ and a width of $0,4 \lambda_0$, where λ_0 is the wavelength in air;
 - between 800 MHz and 6 GHz, the phantom may have any shape flat bottom wall that encompasses an ellipse with a length of 225 mm and a width of 150 mm.

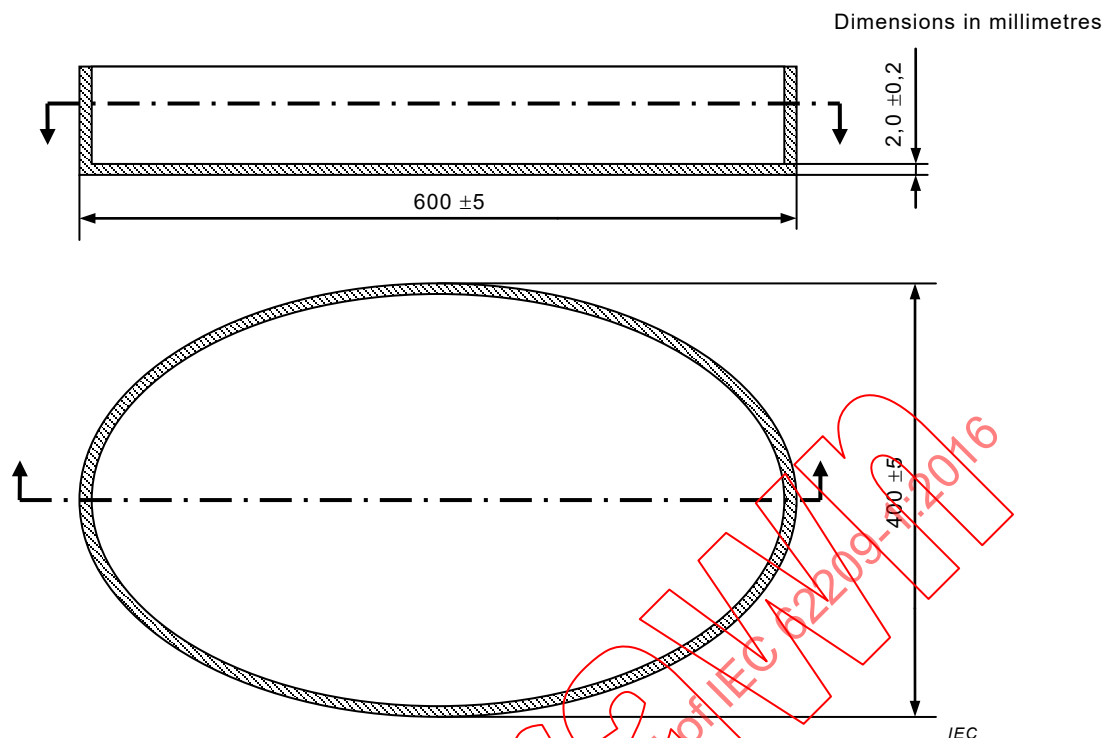


Figure A.7 – Dimensions of the elliptical phantom

The phantom shall be filled with head tissue simulant liquid. To minimize reflections within the phantom, the depth of the homogeneous liquid should be at least 15 cm. Liquid depth of less than 15 cm can be used if it is demonstrated (e.g. using numerical simulations) that the effect of reflections on peak spatial-average SAR is less than 1 %. If the effect of reflections on peak spatial-average SAR is more than 1 % but less than 3 %, the maximum uncertainty shall be added to the uncertainty budget. The phantom shell shall be made of low-loss and low-permittivity material, having a loss tangent $\leq 0,05$ and a relative permittivity of

$$1 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ for } f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$2 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ for } f > 3 \text{ GHz, [123]}$$

The thickness of the bottom-wall of the flat phantom shall be 2,0 mm with a tolerance of $\pm 0,2$ mm.

Effects on SAR due to deviations of phantom shell parameters and thickness shall be included in the uncertainty estimation.

The phantom shell material shall be resistant to damage or reaction with tissue-equivalent liquid chemicals used in it.

A.4 Tissue-equivalent liquids

To derive appropriate parameters for homogeneous liquids, a simple analytical model of an infinite half-space layered tissue model exposed to a plane-wave was utilized to investigate the impact of impedance-matching, standing-waves, etc., on the peak spatial-average SAR by the authors of [33] for frequencies up to 3 GHz and by the authors of [15], [16] for frequencies up to 6 GHz. The tissue layers were varied in composition and thickness to represent the anatomical variation of the exposed head region, covering the user group including adults and children (between the 10th and 90th percentile). Based on the worst-case tissue layer compositions with respect to absorption at each frequency, homogeneous head tissue-equivalent liquid dielectric parameters for homogeneous modelling were derived to ensure

that the peak spatial-average SAR is the same (or slightly higher) than the peak spatial-average SAR in the layered models. The Cole-Cole model of the dielectric tissue properties was used which can be obtained from [50]. The validity of this approach for near-field exposure was demonstrated by replacing the plane-wave by half-wave dipole and quarter-wave monopole sources in the closest proximity to the layered structures, as well as by comparison with results from magnetic-resonance-imaging (MRI)-based non-homogeneous human head models of adults and children from the literature.

Table A.3 shows the relative permittivity and conductivity of the resulting head tissue-equivalent liquids as published in [33]. For dielectric properties of head tissue-equivalent liquid at other frequencies within the frequency range, a linear interpolation method shall be used. Examples of recipes for liquids having parameters as defined in Table A.3 are given in Annex I. The measured dielectric properties, not the values of Table A.3, shall be used in the SAR calculations. This measurement can be performed using the equipment and procedures described in Annex J.

Table A.3 – Dielectric properties of the head tissue-equivalent liquid

Frequency MHz	Relative permittivity ϵ_r	Conductivity (σ) S/m
300	45,3	0,87
450	43,5	0,87
750	41,9	0,89
835	41,5	0,90
900	41,5	0,97
1 450	40,5	1,20
1 500	40,4	1,23
1 640	40,2	1,31
1 750	40,1	1,37
1 800	40,0	1,40
1 900	40,0	1,40
2 000	40,0	1,40
2 100	39,8	1,49
2 300	39,5	1,67
2 450	39,2	1,80
2 600	39,0	1,96
3 000	38,5	2,40
3 500	37,9	2,91
4 000	37,4	3,43
4 500	36,8	3,94
5 000	36,2	4,45
5 200	36,0	4,66
5 400	35,8	4,86
5 600	35,5	5,07
5 800	35,3	5,27
6 000	35,1	5,48

NOTE For convenience, permittivity and conductivity values at those frequencies which are not part of the original data provided by Drossos et al. [33] or the extension to 5 800 MHz are provided (i.e. the values shown *in italics*). These values were linearly interpolated between the values in this table that are immediately above and below these values, except the values at 6 000 MHz that were linearly extrapolated from the values at 3 000 MHz and 5 800 MHz.

Annex B (normative)

Calibration and characterization of dosimetric probes

B.1 Introductory remarks

Currently available SAR probes are based on Schottky diode detectors. The measured signal at the output of the probe is a voltage proportional to E or E^2 , depending on the magnitude of the electric field strength, which determines the operating point on the diode characteristic curve.

Most isotropic probes consist of three small dipole sensors with diode detectors at their centre gaps. The directivity patterns of such sensors are orthogonal, and the total E-field magnitude is proportional to the root-sum-square (RSS) of the three orthogonal field components. In the square-law region of the diode response, the sensor output voltage is proportional to the mean square of the corresponding field component. Beyond that range the output voltage is compressed and therefore requires linearization within the dynamic range. Differences due to manufacturing tolerances will introduce somewhat different sensitivities for each sensor, which shall be accounted for during calibration and compensated for during measurement.

Probe calibration for SAR testing in liquid will produce either a SAR or an E-field conversion factor. Because SAR is proportional to liquid conductivity, a direct calibration in terms of SAR would be valid only for liquids with the exact same conductivity. The E-field sensitivity depends more on the liquid complex permittivity and is less sensitive to the conductivity alone. Calibration in terms of E-field rather than SAR should have a broader range of validity, and is therefore preferred for routine SAR testing in which the tissue-equivalent liquid properties vary slightly over time.

Probe calibration is usually done with either one-step or two-step methods. In the two-step method, the total field is given by Formula (B.1):

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\eta_i \psi_i} \quad (\text{B.1})$$

Here, E_i ($i = 1, 2, 3$) are the components resulting from the projection of the E-field vector on the three orthogonal sensors, $f_i(V_i)$ is a linearizing function of the rectified sensor signal V_i , η_i in $[\mu\text{V}/(\text{V/m})^2]$ is the sensitivity of dipole sensor i in air, and ψ_i is the ratio of sensor response in air to the response in the dielectric media (sometimes referred to as the conversion factor).

The linearization function $f_i(V_i)$ is not only a function of the RMS value of V_i but also dependent on the signal. Nadakuduti et al. [116] has shown that CW and periodic pulse-modulated signals with constant amplitude (e.g. GSM) can be more easily corrected for linearity than communication protocols employing complex modulations with stochastic signal envelopes. Acceptable linearization of complex modulations can be obtained over a wide dynamic range with a linearity uncertainty of less than 0,4 dB (see Nadakuduti et al. [116]).

This two-step method has also been called a three-step method (Meier et al. [104]), where the third step involves the linearizing function $f_i(V_i)$. In the one-step methods described in B.3.3, the total field is given by Formula (B.2):

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\gamma_i} \quad (\text{B.2})$$

Here the η_i factors are included in the total in-tissue sensitivity γ_i . Another one-step procedure based on a standard antenna method is described in Person et al. [128].

Probe calibrations are valid only when the sensors are sufficiently far away (at least one probe-tip diameter) from any media boundaries. When the probe is close to such boundaries and compensation is not applied, the sensitivity can change (boundary effect). The boundary effect, as well as the isotropic response of the probe, shall be assessed using separate tests, as described in 7.2.2.2, 7.2.2.5, B.4 and B.6.

B.2 Linearity

Probe linearity is introduced and explained in 7.2.2.3; the associated uncertainty can be determined as per the methods set forth in 7.2.2.3 for CW signals and 7.2.2.4 for modulated signals. Clause B.2 describes a general methodology for assessing probe linearity of any signal.

The non-linear sensor response of the diode detector $f_i(V_i)$ that is a function of field strength and signal characteristics shall be linearized prior to the assessment of the sensitivity (see Clause B.1). This is best performed using an amplitude or power scan with a well-defined incident field having the corresponding signal characteristics. Any of the following set-ups can be used provided the dynamic range of interest is assessed in steps of 3 dB or less. A true RMS power meter or an appropriately calibrated field probe should be used as reference. The linearization parameters are determined for the i -th sensor by assessing and removing the linearization error between the measured response $E_{inc\ meas}$ and the incident field E_{inc} as shown in Formula (B.3):

$$error_{linearization} = 20 \log_{10} \frac{E_{inc\ meas}}{E_{inc}} \quad (B.3)$$

An approach is described by Nadakaduti et al. [116] to apply curve fitting to remove the linearization error for signals having complex signal envelopes.

B.3 Assessment of the sensitivity of the dipole sensors

B.3.1 General

The sensitivity factors can be determined by applying "one-step" or "two-step" calibration procedures. Alternatively, transfer calibration can be applied.

B.3.2 Two-step calibration procedures

B.3.2.1 General

The total field shall be evaluated according to Formula (B.1).

The separation of the probe sensitivity into two factors (η_i and γ_i) allows the use of certain standardized free-space probe calibration procedures and provides additional validation of the probe performance and calibration set-up.

B.3.2.2 Sensitivity in air (first step)

The most accurate set-ups used for the generation of well-defined fields to simulate free-space conditions for use in probe calibration are waveguides. The reasons are as follows:

- waveguide set-ups require moderate power and less space than far-field calibration set-ups;

- generation of the most accurate fields traceable to power readings is possible;
- the uncertainty produced by the field disturbance due to the probe insertion is negligible for small near-field probes when the waveguide dimensions are considerably larger than probe dimensions;
- the set-ups allow easy access for orienting the probe axis normal or parallel to the field polarization inside the set-up;
- in addition, cross validation of the general field strengths is possible by using a set of waveguides with overlapping frequency ranges.

At lower frequencies (e.g. below 750 MHz), TEM cells can be employed instead. However, the field inside a TEM cell is less well-defined, i.e. there is rather large deviation from the predicted homogeneous field distribution [116].

The probe is generally inserted through small holes in the walls of the TEM cell and positioned at the centre (above or below the septum) where the field is mostly homogeneous over the probe dimensions. Each sensor is evaluated with respect to the field component parallel to the sensor.

As long as the resistive line does not load the dipole-diode sensor and the probe is small compared to the wavelength, the sensitivity in free-space is independent of the frequency. This gives an additional validation of the calibration set-ups, and checks for possible field perturbations due to the probe. Effects due to probe insertion are typically negligible, if high-quality waveguide couplers and matched sources are used. An additional uncertainty source in the waveguide set-ups is due to reflections from the terminating load, which can result in a standing wave pattern within the set-up. Reflections can be kept below 1 % if high-quality waveguide loads are used. Furthermore, the uncertainty can be compensated for by performing supplementary measurements with a $\lambda/4$ -shifted load and averaging of two readings.

B.3.2.3 Sensitivity in media (second step)

B.3.2.3.1 General

The sensitivity in liquid is determined by generating locally-known field values inside the media. Two methods can be used:

- a) transfer calibration with temperature probe;
- b) calibration with analytical fields.

B.3.2.3.2 Transfer calibration with temperature probes

In lossy liquids SAR is related both to the electric field (E) and the rate of temperature rise (dT/dt) in the liquid having specific heat capacity c_h . Hence, based on the relation

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} = c_h \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} \quad (\text{B.4})$$

the electric field in lossy liquid can be measured indirectly by measuring the rate of temperature rise in the liquid. Non-perturbing temperature probes (optical probes or thermistor probes with resistive lines) with small sensors (< 2 mm) and fast response time (< 1 s) are available and can be easily calibrated with high precision [84]. The set-up and the exciting source have no influence on the calibration; only the relative positioning uncertainties of the temperature probe and the E-field probe to be calibrated shall be considered. However, several problems limit the available accuracy of probe calibrations with temperature probes.

- The rate of temperature rise is not directly measurable but shall be evaluated from temperature measurements performed over a short time duration. Special precaution is

necessary to avoid measurement uncertainties caused by temperature gradients due to energy equalizing effects or convection currents in the liquid. Such effects cannot be completely avoided. With a careful set-up these uncertainties can be kept small.

- The measured volume around the temperature probe is not well defined. It is difficult to calculate the energy transfer into the probe from a surrounding gradient temperature field into the probe (typically, temperature probes are calibrated in liquid with homogeneous temperatures). There is no traceable standard for temperature increase measurements.
- The calibration depends on the assessment of the mass density, the specific heat capacity and the electrical conductivity of the medium. While mass density and specific heat capacity can be measured accurately with standardized procedures ($\sim \pm 2\%$ for c_h ; much better for ρ), there is no standard for the measurement of the electrical conductivity. Depending on the method and liquid, the uncertainty can be $\pm 5\%$.
- Sufficient temperature rise is required to produce measurable temperature rises, therefore calibration is often performed at a higher power level than the E-field methods. The non-linearities in the system (e.g. power measurements, different field components, etc.) shall be compensated.

Considering these problems, the calibration accuracy of E-field probes using temperature rise technique in a carefully designed set-up is about $\pm 10\%$ (combined standard uncertainty) [104]. A set-up using a combination of waveguide and temperature rise techniques was presented in [72]. The estimated combined standard uncertainty of this set-up is $\pm 5\%$ when the same liquid is used for both the calibration and for actual measurements, and $\pm 7\%$ to $\pm 9\%$ when not, which is in good agreement with the estimates given in [104]. When performing an uncertainty analysis of the transfer calibration using temperature rise technique, the parameters included in Table B.1 shall at least be considered.

Table B.1 – Uncertainty analysis for transfer calibration using temperature probes

Source of uncertainty	Uncertainty value $\pm \%$	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty $u_i \pm \%$	ν_i or ν_{eff}
Positioning of E-field probe		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Positioning of temperature probe		R	$\sqrt{3}$	1		∞
E-field probe linearity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Temperature probe drift and noise		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Temperature probe linearity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid conductivity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Specific heat of liquid		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid density		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Temperature probe accuracy		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				

NOTE c_i is the sensitivity coefficient.

The component tolerances of Table B.1 shall be determined as follows.

- The positioning tolerances of the temperature and E-field probes are evaluated according to 7.2.3.1 using the actual penetration depth determined from the tissue dielectric parameters measured at the calibration frequency. Since small SAR variations at the peak are expected for directions parallel to the phantom surface, the procedures of 7.2.3.1 are applicable when both temperature and E-field probe movements may be limited to transverse directions only, with no movement required in the surface-normal or z -direction.
- Linearity uncertainty of the field probe is assessed according to 7.2.2.3 and for calibration shall not exceed 0,1 dB at the calibration field strength.

- c) Temperature probe drifts and noise are assessed by temperature measurements at 1 s intervals for 1 h, with an integration time of less than 0,5 s in a constant temperature condition. The temperature tolerance is computed as $100 \times [(T_{\max} - T_{\min})/\Delta T_{\min}]$, where $\Delta T_{\min}$ is the minimum temperature rise for the different power levels used for the calibration.
- d) The temperature probe linearity tolerance should be determined using the following procedures. The accuracy and linearity of the temperature probe readings are compared against a traceable temperature reference at 10 temperature steps in a range larger than or equal to that used during the calibration. The tolerance is computed as $100 \times [(T_{\max} - T_{\min})/\Delta T_{\min}]$, where $\Delta T_{\min}$ is the larger of the minimum temperature rise for the different power levels used for the calibration and the tolerance for the temperature reference.
- e) Liquid conductivity measurement tolerance during temperature calibration is determined using the same procedures as in 7.2.6.3.
- f) The specific heat tolerance of tissue-equivalent liquids shall be determined using calorimeter procedures ([72], [100]).
- g) Liquid density measurement tolerance shall be computed according to the RSS of the volume and weight tolerances obtained using standard measurement methods for volume and weight.
- h) The temperature probe shall have a step response time of 1 s or less, which is determined from the time required by the measurement equipment, temperature probe and readout electronics to reach 90 % of the expected final temperature value after a step variation of 5 °C or more has been applied to the temperature probe.

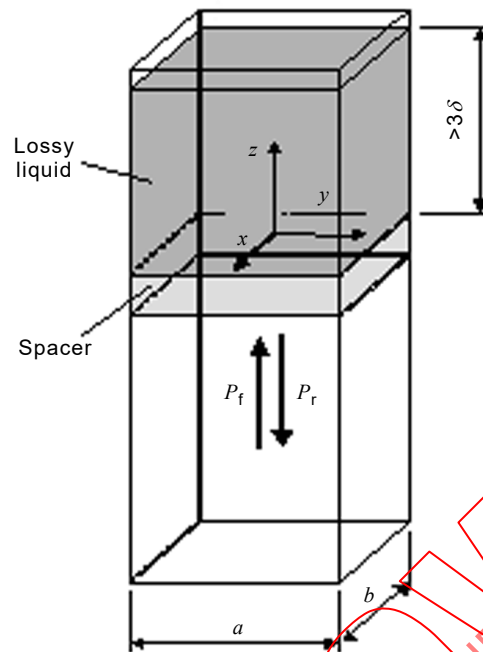
B.3.2.3.3 Calibration with analytical fields (waveguides)

In this method a test set-up is used in which the field can be calculated analytically from measurements of other physical magnitudes (e.g. input power). This corresponds to the standard field method for probe calibration in air; however, there is no standard defined for fields in lossy liquids.

When using calculated fields in lossy liquids for probe calibration, several points shall be considered in the estimation of the uncertainty.

- The net RF power dissipated in the waveguide shall be measured accurately. This requirement implies precise measurements of two out of the following three quantities: incident power, reflected power, reflection coefficient at the waveguide input port.
- The accuracy of the calculated field strength will depend on the assessment of the dielectric parameters of the liquid.
- Due to the small wavelength in liquids with high permittivity, higher order modes can be excited. The field distribution in the set-up shall be carefully checked for conformity with the theoretical field distribution.

Waveguides can be utilized to generate an analytically known field inside tissue-equivalent liquids, e.g. the set-up presented in [132]. In this set-up (see Figure B.1), the upper part of a vertically-oriented open-ended waveguide is filled with liquid. A dielectric slab at a distance $> \lambda$ (λ refers to the wavelength in the air section of the waveguide) from the feeding coupler provides an impedance match (> 10 dB return loss) between air and liquid. The symmetry of the construction and high losses in the liquid ensure that the field distribution inside the tissue-equivalent liquid follows the TE_{10} waveguide mode pattern, although higher-order modes theoretically may exist. In [131] the absence of higher modes was carefully validated by measuring the electric field distribution in the volume of the liquid, and this was found to be within ± 2 % of the theoretical TE_{10} mode pattern.



Key

x, y, z	Axes of cartesian coordinate system
3δ	Liquid depth (> 3 times the penetration depth)
a	Waveguide cross-section width
b	Waveguide cross-section height
P_f	Incident power
P_r	Reflected power

Figure B.1 – Experimental set-up for assessment of the sensitivity (conversion factor) using a vertically-oriented rectangular waveguide

Inside the liquid, the field propagates almost like a TEM wave, because of the low cut-off frequency. The liquid depth (> 3 times the penetration depth) was chosen so that the reflections at the upper surface of the liquid are negligible. Formula (B.5) shows the relationship between the SAR at the cross-sectional centre ($x = y = 0$) of the lossy waveguide and the longitudinal distance (z) from the dielectric separator:

$$SAR(z) = \frac{4(P_f - P_r)}{\rho ab\delta} e^{-2z/\delta} \quad (B.5)$$

where

- ab is the cross-sectional area of the waveguide;
- P_f is the forward power inside the lossless section of the waveguide;
- P_r is the reflected power inside the lossless section of the waveguide;
- z is the distance from the dielectric slab;
- ρ is the liquid density;
- δ is the penetration depth inside the lossy liquid.

NOTE For the purposes of this standard, the density ρ is assumed to be 1 000 kg/m³.

The penetration depth δ , which is the reciprocal of the waveguide-mode attenuation coefficient α , is determined from a scan along the z -axis and compared with the theoretical value determined from Formula (B.6) using the measured dielectric properties of the lossy liquid.

$$\delta = \alpha^{-1} = \Re \left\{ \sqrt{(\pi/a)^2 + j\omega\mu_0(\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon'_r)} \right\}^{-1} \quad (\text{B.6})$$

Table B.2 provides design guidelines for calibration waveguides with a return loss of at least 10 dB at the most important frequencies used for personal wireless communications. Values for the penetration depth for these specific fixtures and tissue-equivalent dielectric parameters are also listed in Table B.2.

This technique provides excellent accuracy, with a combined standard uncertainty of $< \pm 3,6 \%$ depending on the frequency and media. The calibration itself is reduced to power measurements traceable to a standard calibration procedure. The practical limitation given by the waveguide size to the frequency range between 750 MHz and 6 000 MHz is not severe in the context of compliance testing, because most of the operational frequencies for mobile communications systems are covered within this range. For frequencies below 750 MHz, transfer calibration with temperature probes remains the most practical way to achieve calibration with the lowest uncertainties. When performing an uncertainty analysis of the calibration with analytical fields, at least the parameters included in Table B.2 shall be considered.

When performing an uncertainty analysis of the probe calibration in a waveguide, at least the parameters included in Table B.3 shall be considered.

Table B.2 – Guidelines for designing calibration waveguides

Frequency MHz	Head tissue simulant		Waveguide dimension	Penetration depth	Dielectric separator	
	ϵ'_r	σ S/m	a mm	δ mm	ϵ'_r	Thickness mm
300	45	0,87	584,2	45,78	5,5	106,0
450	44	0,87	457,2	42,94	6,0	66,1
835 to 900	42	0,97	247,6	36,16	5,6	34,8
1 450	41	1,20	129,5	28,55	4,7	24,8
1 800 to 2 000	40	1,40	109,2	24,15	4,8	19,4
2 450	39	1,80	109,2	18,59	5,7	12,6
3 000	39	2,40	86,4	13,97	5,7	10,3
3 500	38,0	2,92	58,2	11,42	4,9	9,76
5 400	35,8	4,86	47,5	6,69	5,6	5,73
6 000	35,1	5,48	40,4	5,89	5,4	5,25

Permittivity and thickness of the dielectric separator may vary from the values shown to accommodate commercially available materials. If the dielectric separator permittivity varies from the indicated value by more than 2 %, it is recommended to newly optimize the spacer thickness for the best matching (return loss typically greater than 10 dB).

NOTE 1 By convention, the length of the cross-section short edge is one half that of the long edge, i.e. $b = a/2$.

NOTE 2 The waveguide dimensions are in accordance with the EIA RS-261-B: 1979 [36].

NOTE 3 These dimensions are also dependent on the frequency bandwidths of interest.

Table B.3 – Uncertainty analysis of the probe calibration in waveguide

Uncertainty component	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
	Uncertainty ± %	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty ± %	v_i
Incident or forward power		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Reflected power		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid conductivity measurement		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid permittivity measurement		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid conductivity deviation		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid permittivity deviation		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Frequency deviation		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Field homogeneity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Field-probe positioning		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Field-probe linearity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				
NOTE Column headings <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> are for reference.						

B.3.3 One step calibration procedures

B.3.3.1 General

The procedure of B.3.2 can be combined into a one-step procedure using reference antennas. The total field shall be evaluated according to Formula (B.2).

Reference antennas are small antennas designed for operating within the appropriate tissue equivalent liquid. Examples of antennas developed at 900 MHz and 1 800 MHz have been described in [129], [128]. At least two identical antennas are necessary to evaluate the gain of the main lobe for use in probe calibration.

The methods in B.3.3 and B.3.4 assess the isotropy with respect to probe rotation and polarization of the incident field. The method in Clause B.4 additionally considers the angle of incidence.

Typical antennas used here include simple directive patch antennas with a gain of 5 dBi or better (see Figure B.2). As side lobes caused by multiple reflections at the tank wall may interfere with the calibration, it shall be verified that these are sufficiently attenuated by the tissue simulant before they reach the probe tip.

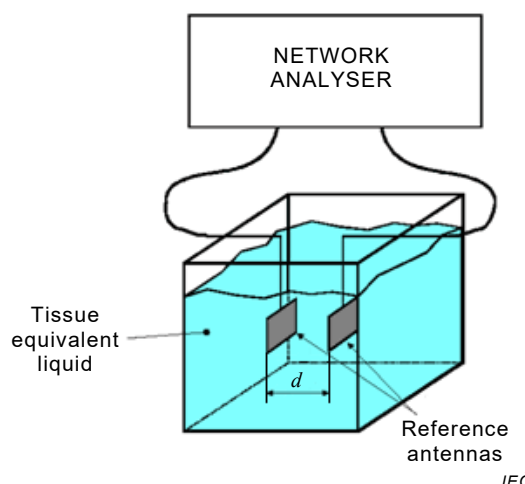


Figure B.2 – Illustration of the antenna gain evaluation set-up

- a) The reference antenna gain evaluation is performed according to the following protocol.
- 1) Position the antennas in the liquid such that their main-beam axes are aligned and at a well-defined distance d : $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquid}}$, where D is the largest dimension of the reference antenna, and λ_{liquid} is the wavelength in the liquid. The antennas shall be at least 10 cm from any walls of the liquid container.
 - 2) Measure the reflection coefficients ρ_1 and ρ_2 at the input ports of each antenna.
 - 3) Measure the transmission coefficient S_{21} between the two antennas at the same ports.
 - 4) The gain is

$$G = |S_{21}(d)| \times e^{\alpha d \left(\frac{4\pi d}{\lambda_{\text{liquid}}} \right)} \times \frac{1}{\sqrt{(1-|\rho_1|^2)(1-|\rho_2|^2)}} \quad (\text{B.7})$$

where the attenuation coefficient is

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c} \times (\epsilon_r'^2 + \epsilon_r''^2)^{1/4} \times \sin \left[\frac{1}{2} \arctan \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right) \right] \quad (\text{B.8})$$

When performing an uncertainty analysis of the reference antenna gain, at least the parameters included in Table B.4 shall be considered. Supplemental methods for the calculation of the antenna gain can be found in B.3.3.2.

Table B.4 – Uncertainty template for evaluation of reference antenna gain

Source of uncertainty	Uncertainty value ± %	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty, u_i ± %	ν_i or ν_{eff}
Incident power		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Reflection coefficients		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Distance		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid conductivity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid permittivity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				

b) The following protocol shall be used for evaluating the sensitivity coefficients of the probe.

- 1) Position one antenna in the tissue-equivalent liquid. The antenna shall be at a minimum distance of 10 cm from the walls of the liquid container.
- 2) Connect a power source to the input port of the reference antenna. The theoretical electric field E_{th} at a distance d_a from the antenna is given by Formula (B.9):

$$E_{\text{th}} = \left(\frac{P_{\text{in}} (1 - |\Gamma|^2) G e^{-2\alpha d_a}}{4\pi d_a^2} \times \frac{120\pi}{\Re\{\sqrt{\epsilon_r}\}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.9})$$

where

d_a is the distance from the antenna:

$$d_a \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquid}}$$

where

D is the largest dimension of the reference antenna,

λ_{liquid} is the wavelength in the liquid;

G is the antenna gain;

P_{in} is the input power;

Γ is the reflection coefficient of the antenna.

It is recommended to connect a bi-directional coupler to control the input power. Tune the input power so that $E_{\text{th}} \sim 30$ V/m.

- 3) Position the probe in the liquid so that the centre of the detectors is at a distance d from the antenna.
- 4) Orient the probe in order to align the direction of the sensor with the polarization of the reference antenna.
- 5) Measure the voltage $V_{1-\text{meas}}$ at the transmitting antenna port.
- 6) The sensitivity coefficient K_1 for this antenna is $K_1 = V_{1-\text{meas}} / E_{\text{th}}^2$.
- 7) Repeat Steps 4) to 6) for the other two sensors to evaluate K_2 and K_3 .

Using the sensitivity coefficients of the probe, SAR is determined by Formula (B.10):

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} \left(\frac{V_{1\text{-meas}}}{K_1} + \frac{V_{2\text{-meas}}}{K_2} + \frac{V_{3\text{-meas}}}{K_3} \right) \quad (\text{B.10})$$

where ρ is the density (1 000 kg/m³).

When performing an uncertainty analysis of the calibration with reference antennas, at least the parameters included in Table B.5 shall be considered.

Table B.5 – Uncertainty template for calibration using reference antenna

Source of uncertainty	Uncertainty value ± %	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty, u_i ± %	ν_i or ν_{eff}
Incident power		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Reflection coefficients		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Antenna gain		N	1 or k	1		∞
Liquid conductivity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid permittivity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Probe positioning		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				

B.3.3.2 Extended formulas for the antenna gain in the near-field measurement

The antenna gain G as in Formula (B.7) and the theoretical electric field E_{th} are based on the far-field measurement in the tissue-equivalent liquid. However, it is often difficult to measure S_{21} in the far-field region due to large attenuation of the field in the liquid. In such a case, an extension of the Friis transmission formula in the lossy liquid can be introduced to define the near-field gain of the reference antenna $G_{\text{near}}(d)$, then E_{th} in the near-field region can be estimated [67].

The near-field gain $G_{\text{near}}(d)$ is a function of the distance from the antenna d , and can be expressed by the power series of the inverse of d .

Then the procedure to determine the reference antenna gain G in B.3.3.1 a) is modified as follows.

- Position the antennas in the liquid such that their main-beam axes are aligned and at a well-defined distance d , and λ_{liquid} is the wavelength in the liquid. The antennas shall be at least 10 cm from any walls of the liquid container.
- Measure the reflection coefficients ρ_1 and ρ_2 at the input ports of each antenna.
- Measure the transmission coefficient $S_{21}(d)$ between the two antennas at the same ports and the same distance by changing d .
- The near-field gain $G_{\text{near}}(d)$ can be expressed in Formula (B.11):

$$G_{\text{near}}(d) = \frac{|S_{21}(d)| \exp(ad) \cdot (2\beta d)}{\sqrt{(1-|\rho_1|^2) \cdot (1-|\rho_2|^2)}} = G \times \exp\left(\frac{a_1}{d} + \frac{a_2}{d^2} + \dots\right) \quad (\text{B.11})$$

where

- d is the distance from the antenna;
- $S_{21}(d)$ is the transmission coefficient between the two antennas;
- P_{in} is the input power;
- ρ_1 is the reflection coefficient of the antenna 1;
- ρ_2 is the reflection coefficient of the antenna 2;
- α is given by Formula (B.6);
- β is $2\pi/\lambda_{liquid}$;
- G is the antenna gain in dB representation given in Formula (B.12):

$$G_{near\ dB}(d) = G_{dB} \left[1 + \frac{1}{A \times d} + \frac{1}{B \times d^2} \right] \quad (B.12)$$

where

- d is the distance from the antenna;
- G_{dB} is the antenna gain.

The constants A , B or a_1 , a_2 ... can be determined by curve-fitting. Therefore the choice of proper curve fitting for the range of d is important. Attenuation and phase constants α and β in the liquid are obtained from the dielectric properties of the liquid.

Then, $E_{th}(d)$ in the near-field region is given by Formula (B.13):

$$|E_{th}(d)|^2 = \frac{30 P_{in} (1 - |\Gamma|^2) G_{near}(d) e^{-2\alpha d}}{\Re\{\sqrt{\epsilon_r}\} d^2} \quad (B.13)$$

where

- α is given by Formula (B.8);
- d is the distance from the antenna;
- ϵ_r is the complex relative permittivity;
- $G_{near}(d)$ is the near-field gain;
- P_{in} is the input power;
- Γ is the reflection coefficient of the antenna.

B.3.4 Coaxial calorimeter method

Figure B.3 shows a coaxial calorimeter system for calibrating SAR probes by the temperature rise method at frequencies below 450 MHz, from Loader et al [98]. It consists of a coaxial line with air dielectric, having an outer shield diameter 2,3 times the inner conductor diameter, which gives 50 Ω characteristic impedance. Towards the short-circuit end of the line the inner conductor is replaced with a plastic pipe containing the phantom liquid, which is in direct contact with the metal end of the centre conductor and also the shorting plate at the top of the system. The probe is inserted through an aperture in the centre of the shorting plate. The diameter of the liquid in the pipe shall be the same as that of the metal inner conductor, and this shall be sufficiently large to prevent probe proximity errors being significant. Power applied to the input port results in an axially polarized field in the liquid with a fairly uniform distribution below 150 MHz.

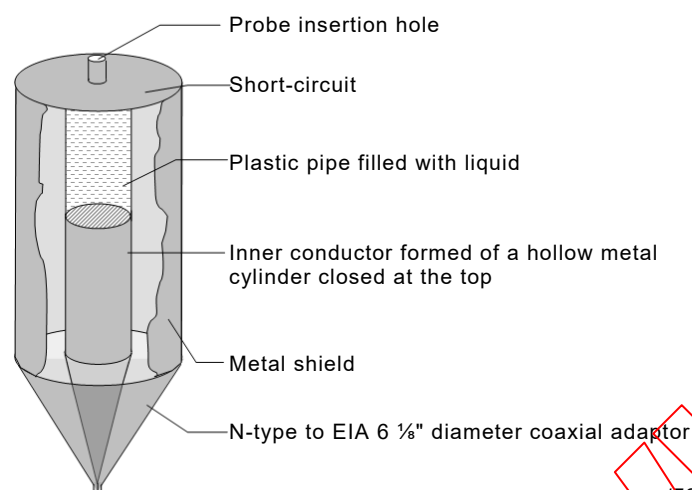


Figure B.3 – Schematic of the coaxial calorimeter system

The SAR probe is used to measure the electric field in the liquid at the reference point for approximately 1 W input power. A temperature probe is then used to measure the rate of temperature rise in the liquid at the same position using approximately 30 W. For accuracy, it is important that the actual temperature rise is limited to 1 °C, since the conductivity of the liquids changes by between three percent and five percent per degree Celsius. The ratio of the power for the SAR probe measurement and the temperature rise measurement shall be measured using a directional power sensor, or directional coupler and power sensor, although the absolute power is not required. Calibration is by comparing the linear output voltages from the SAR probe sensors with the electric field in the liquid that is calculated using Formula (B.14):

$$E_{\text{probe}}^2 = \frac{\rho \times c_h}{\sigma} \frac{dT}{dt} \frac{P_{\text{sensor}}}{P_{\text{temperature}}} \quad (\text{B.14})$$

where

E_{probe}^2 is the electric field squared at the probe sensors;

ρ is the density of the phantom liquid;

σ is the conductivity;

c_h is the specific heat;

P_{sensor} is the power used in the SAR probe measurement;

$P_{\text{temperature}}$ is the power used in the temperature measurement;

dT/dt is the rate of increase in temperature in the liquid.

This system provides accurate calibrations over the frequency range 30 MHz to 450 MHz, with a standard uncertainty of around $\pm 5\%$. When performing the calibration using this method, at least the parameters included in Table B.6 shall be considered.

Table B.6 – Uncertainty components for probe calibration using thermal methods

	a		b	c	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Uncertainty component	Uncertainty $\pm \%$	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient c_i	Standard uncertainty $\pm \%$	ν_i or ν_{eff}
Liquid temperature coefficient		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid heat capacity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid density		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Liquid conductivity		R	$\sqrt{3}$			∞
Power sensor linearity and drift		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Temperature probe linearity		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Thermal effects giving rise to non-linear temperature rise		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Positional errors		N	1	1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				

B.4 Isotropy

B.4.1 Axial isotropy

The probe shall be exposed to a wave with incident polarization normal to the probe axis. The axial isotropy is determined by rotating the probe along its major axis from 0° to 360° with a step size less than or equal to 15°.

B.4.2 Hemispherical isotropy

B.4.2.1 General

The probe shall be exposed to a reference wave with varying angles of incidence with respect to the plane normal to the probe axis. Assessment of the spherical isotropy shall be done at a location where the SAR gradients are less than 3 % per millimetre. The hemispherical isotropy shall be determined by either tilting the probe or changing the polarization of the reference wave. The angles of incidence shall vary from 90° (axial) to 0° (normal) with a step size less than or equal to 30°. For each incidence angle, the probe shall be rotated through a range of 360° and a step size less than or equal to 15°.

The following four methods can be used for hemispherical isotropy, each producing similar results:

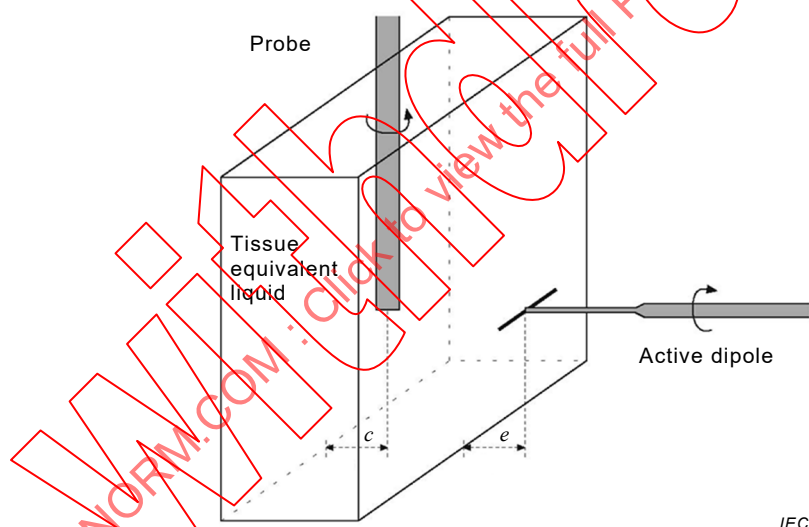
- flat phantom with dipole at side;
- flat phantom with dipole beneath;
- spherical phantom with dipole;

d) reference antenna method (see B.4.2.5).

B.4.2.2 Isotropy with flat phantom and dipole at side

The set-up consists of a thin wall plastic box filled with tissue-equivalent liquid exposed to a half-wave resonant dipole operating at the test frequency. The following protocol shall be used for evaluating the spherical isotropy of the probe.

- Mount the dipole antenna horizontally on a mounting device and position it parallel to the flat phantom (see Figure B.4). The antenna shall be positioned at a maximum distance of $e = \lambda/10$ from the adjacent wall of the liquid container.
- Insert the probe vertically in the liquid so that the centre of the three probe sensors is positioned in front of the dipole feed-point at the height of the dipole axis.
- The horizontal position of the probe shall be, whenever possible, at the maximum of the standing wave near the back side of the box, at a distance c from the phantom/liquid interface, where the E-field is partially homogeneous and the H-field is at a minimum.
- The dipole shall be rotated around the axis of its mounting device from at least 0° to 180° with incremental steps of less than or equal to 30° .
- At each step the probe is rotated about its axis from 0° to 360° by the probe positioner and measurement data is recorded in steps of less than or equal to 15° .
- The deviation from spherical isotropy is then expressed as an uncertainty component with a rectangular probability distribution limited by the measured response peaks. Details can be found in [133].



Key

c Distance from probe to backwall

e Maximum distance from the front wall of the liquid container

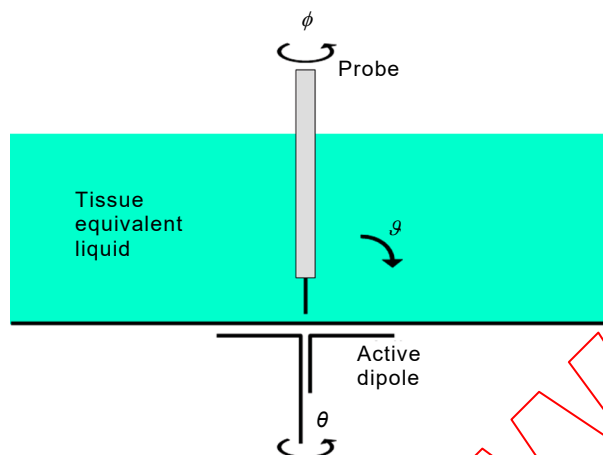
NOTE The assessment is preferably performed in the location c of minor field gradients resulting from the standing wave. The dimension e is the distance between the dipole feed-point and the interface of the front wall and the liquid.

Figure B.4 – Set-up to assess spherical isotropy deviation in tissue-equivalent liquid

B.4.2.3 Isotropy with flat phantom and dipole beneath

An alternative set-up for isotropy evaluation is shown in Figure B.5. A half-wave dipole mounted on a holder is positioned with arms parallel to and below a flat phantom containing tissue-equivalent liquid. A probe is positioned at a point directly above the dipole feed-point. All probe rotations are performed and controlled by a high-accuracy positioner. The rotation of

the probe about its axis (ϕ rotation from 0° to 360°), along with dipole rotation (θ rotation from 0° to 180°) and change of probe inclination angle ϑ (from 0° to 75°), produces a 3D evaluation of a significant portion of the hemispherical receiving pattern.



Key

ϑ Probe axis tilt angle

θ Rotation angle of the axis of the dipole mounting device

ϕ Probe axis rotation angle of the probe

Figure B.5 – Alternative set-up to assess spherical isotropy deviation in tissue-equivalent liquid

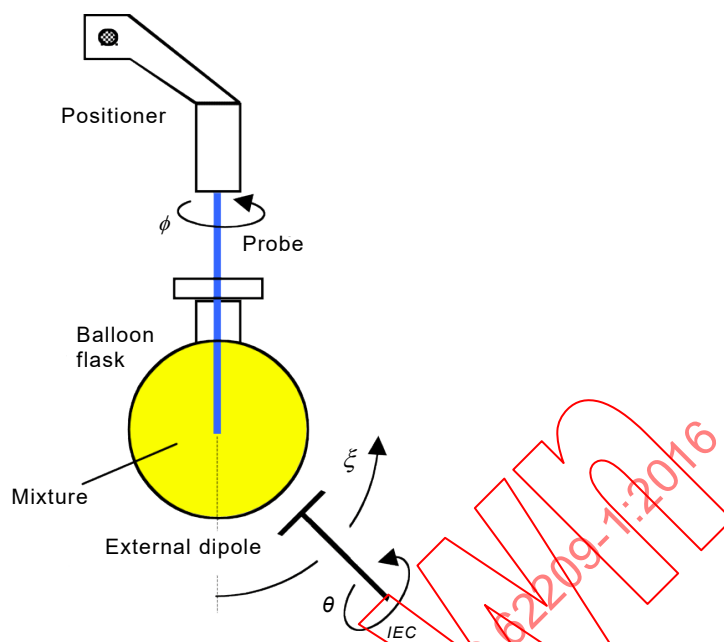
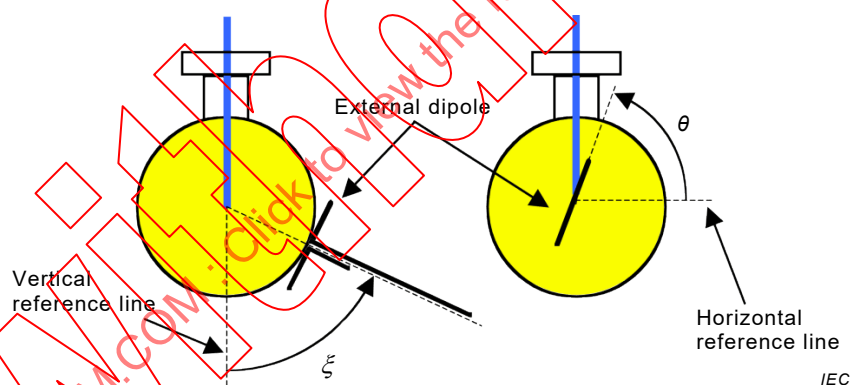
B.4.2.4 Isotropy with dipole and spherical phantom

The hemispherical isotropy of the probe can be assessed using a set-up comprised of a mixture-filled spherical flask and an external dipole [38]. The probe sensors are positioned at the geometrical centre of the flask, and the probe is rotated about its axis under several different excitation conditions (impinging wave incidence angle and polarization) provided by the external dipole antenna. In this set-up, the probe positioner is not required to tilt and simultaneously rotate the probe.

The measurement set-up, shown in Figure B.6 [38], consists of a spherical flask that is filled with tissue-equivalent liquid. The probe is vertically positioned with its sensors at the volumetric centre of the sphere. The excitation is provided by an external half-wave dipole tuned to the desired operating frequency. The dipole axis is aligned with the tangent plane of the surface of the sphere above the dipole feed-point.

NOTE Smaller flasks may be preferred because increased mixture conductivity or operating frequency implies a higher path-loss for the wave transmitted to the probe. Larger flasks feature a locally flatter surface (longer curvature radius), which produces a locally flatter wave front impinging on the probe tip and relaxes the tolerance on the position of the dipole.

Figure B.7 [38] shows the conventions used to describe the antenna position and polarization. A 3D measurement of the probe receive pattern over a hemisphere is accomplished by rotating the probe by 360° around its axis (ϕ) while positioning the external dipole at angles $0^\circ \leq \xi \leq 360^\circ$. Every desired polarization of the impinging wave is achieved by rotating the dipole around its axis $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$. Multiple θ -positions are not needed when $\xi = 0^\circ$. While a large number of measurement points is possible with this set-up, usually steps of 30° in ξ and 15° in θ are sufficient for characterization.

**Key** ξ Elevation angle to dipole axis θ Dipole rotation angle ϕ Probe axis rotation angle**Figure B.6 – Experimental set-up for the hemispherical isotropy assessment****Key** ξ Elevation angle to dipole axis θ Dipole rotation angle

NOTE ξ is the angle between the probe axis and the axis of the dipole holder, θ is the angle between the probe axis and the dipole axis.

Figure B.7 – Conventions for dipole position (ξ) and polarization (θ)

The measurements consist of complete 360° rotations of the probe for each dipole position and polarization (ξ, θ). The power radiated during each rotation shall be monitored and recorded for every ϕ -position of the probe, and the SAR samples shall be normalized to a nominal value. Although it cannot be a priori excluded, there is no particular reason why any positions and polarizations of the external dipole other than what is considered here would produce significantly worse isotropic performance. However, the matrix of tests can be expanded to include any particular case of interest, e.g. polarization conditions that match the sensor orientation in some probes.

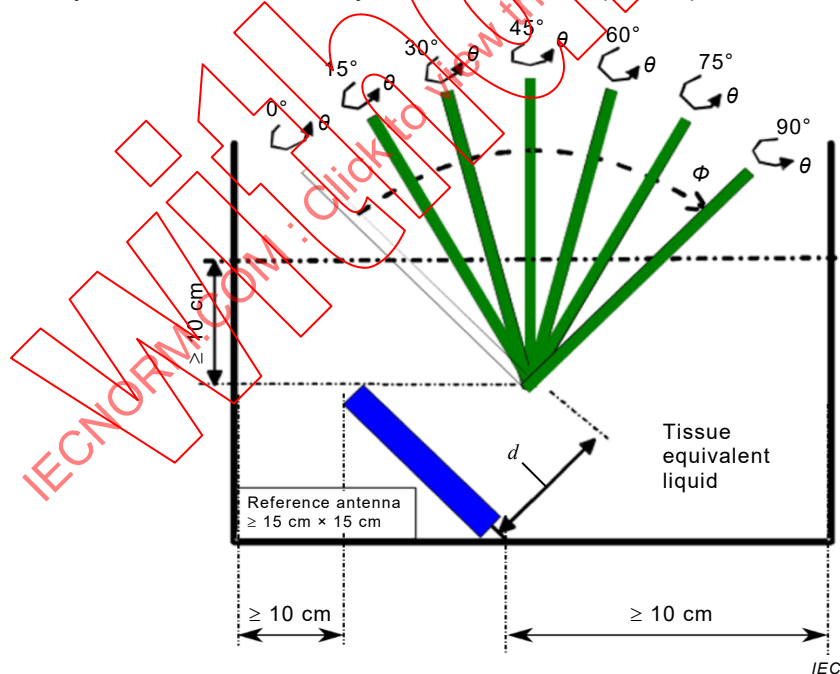
As with the flat-phantom isotropy test, a rectangular uncertainty distribution is assumed. However, the uncertainty can be substantially reduced when probe calibration is performed

under a specific polarization and direction of the impinging wave and the same conditions are maintained during SAR measurements.

B.4.2.5 Isotropy with reference antennas

The following protocol shall be used for evaluating the isotropy of the probe using the reference antenna set-up in Figure B.8.

- Position one antenna in the tissue-equivalent liquid. The antenna shall be at a minimum distance of 10 cm from the walls of the liquid container and have dimensions such that it can be placed in the position indicated in Figure B.8.
- Position the probe in the liquid so that the geometric centre of the sensors is at a distance d from the antenna: $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquid}}$, where D is the largest dimension of the reference antenna, and λ_{liquid} is the wavelength in the liquid. It is recommended that the SAR value is set to between 0,5 W/kg and 1 W/kg at this position.
- Orient the probe axis so that its main axis is orthogonal to the direction of propagation from the antenna (see Figure B.8).
- Rotate the probe along its main axis from 0° to 360° with a step size less than or equal to 15° . Record the SAR values. The axial isotropy is expressed as an uncertainty component with a rectangular probability distribution based on the measured response peaks.
- Vary the incidence of the reference field by tilting the reference antenna or the probe axis (see Figure B.8) from 0° to 90° with a step size of 15° or 30° .
- For each incidence angle, rotate the probe along its main axis from 0° to 360° with a step size less than or equal to 15° . Record the SAR values.
- The hemispherical isotropy is expressed as an uncertainty component with a rectangular probability distribution limited by the measured response peaks.



Key

- θ Probe axis rotation angle
- ϕ Probe axis tilt angle
- $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquid}}$
- D Largest dimension of the reference antenna
- λ_{liquid} Wavelength in the liquid

Figure B.8 – Measurement of hemispherical isotropy with reference antenna

B.5 Lower detection limit

The lower detection limit is the minimum SAR measurable within the overall system uncertainty. It is related to the noise level and offset of the measurement system and can be assessed by varying the output power in the same set-up as described in 7.2.2.3 (i.e. by verifying that the probe is still responding linearly at the required lower detection SAR level). In actual operational conditions of the measurement system, the ambient electromagnetic environment may impair the detection limit. Therefore, verification of the lower detection limit by using the flat-phantom set-up described in Annex H, or a calibration waveguide, is recommended. The required lower detection limit is 10 mW/kg.

B.6 Boundary effects

In the closest vicinity to the inner surface of a phantom shell, probe sensitivity deviates from that which is established under typical calibration conditions. Boundary effects are evaluated with the liquid-filled open waveguide set-ups used for probe calibration. The peak spatial-average SAR is measured using all system components and compensation routines. The uncertainty due to boundary effects is the deviation from the analytical value at the surface, which is estimated by extrapolating the trend of measured samples to the interface of the liquid and the dielectric slab. This measurement shall be performed for each frequency band and for each averaging volume. For frequencies below 800 MHz, where calibration waveguides may not be available due to the relatively large size, an experimental set-up comprised of a half-wave dipole beneath a flat phantom may be used. In this case, extrapolation to the surface is not based on the known analytical behaviour of guided-wave modes, but on an extrapolation of measured samples. The boundary effect error is defined as the deviation between the measured SAR data and the true value in the liquid. When the probe is oriented normal to the phantom surface, the boundary effect can largely be compensated for as described in [132]. The uncertainty of the boundary effect shall be evaluated according to 7.2.2.5.

B.7 Response time

Field-probe signal response time uncertainty is evaluated by exposing the probe to an E-field step response producing at least 100 W/kg. The signal response time is determined as the time required by the probe and its readout electronics to reach 90 % of the expected final value produced by the step response through switching the RF power on and off. The probe shall remain stationary at each measurement location for at least three times the assessed response time to ensure a negligible probe signal response time uncertainty. Under these measurement conditions, an uncertainty value of zero may be entered in Table 11, Table 12 and Table 13. Otherwise, the SAR uncertainty due to signal response-time uncertainty shall be assessed using the signal characteristics of the test device. In this case, the signal step-response time uncertainty is equal to the percent difference of the SAR measured with the chosen measurement time from the SAR measured with a measurement time of at least three times the assessed response time. A rectangular probability distribution shall be assumed.

Annex C (normative)

Post-processing techniques

C.1 Extrapolation and interpolation schemes

C.1.1 Introductory remarks

The local SAR inside the phantom shall be measured using small dipole sensing elements enclosed in a probe cover/case. Probe calibration (involving E-field measurement) may be carried out with respect to the geometric centre of the internal dipole set, in which case the fact that the dipoles are a few millimetres from the physical tip of the probe shall be taken into account when defining the measurement positions. In order to minimize probe boundary effect uncertainties, the probe tip shall not be in contact with the phantom surface even though the highest local SAR values usually occur at the surface of the phantom. Assessment of these highest local SAR values is essential to determine the peak spatial-average SAR, and shall, therefore, be obtained by extrapolation from measurements carried out at a range of distances from the phantom surface. Accurate assessment of the peak spatial-average SAR requires very fine resolution according to Table 2 within a three-dimensional scanned volume and the measurements shall be performed with a fully charged battery. The measured data shall be extrapolated and interpolated to provide a data array with sufficient resolution to accurately calculate the overall peak spatial-average SAR. The measurement uncertainty resulting from these interpolation, extrapolation and other numerical procedures (integration, averaging, etc.) shall be determined. The location uncertainty of measurement points is determined as a separate uncertainty component.

C.1.2 Interpolation schemes

Interpolation can be performed using various mathematical techniques such as statistics [41], basis function curvefits [86], Fourier analysis [40] and wavelet [42] or polynomial or spline curve fits [146]. Various numerical analysis textbooks e.g. [135], describe how to implement some of these methods.

C.1.3 Extrapolation schemes

Extrapolation can be performed using splines, biharmonic splines, wavelets, polynomials, or rational functions. Various computational mathematics books describe how to implement some of these methods. Because the accuracy of the extrapolation depends on the distance between measurement points and on the field distribution being extrapolated, the uncertainty associated with the extrapolation shall be estimated carefully.

C.2 Averaging scheme and maximum finding

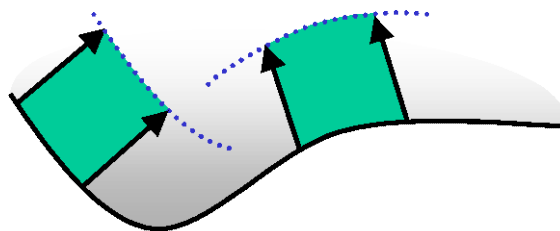
C.2.1 Volume average schemes

The cubical volumes evaluated to average the local SAR values measurements after extrapolation and interpolation shall extend to the phantom surface in order to include the highest values of local SAR. In post-processing, the averaging cube shall be coincident with one of its faces parallel to the phantom surface.

C.2.2 Extrude method of averaging

The method of averaging is intrinsically simple since the cube essentially conforms to the measurement grid, or at least conforms to the extrapolated and interpolated data grid. The peak spatial-average SAR is found by moving the averaging cube over a selected region, e.g. a region with a local SAR above some criterion. Figure C.1 illustrates the extrude method of averaging. The scanning of the volume may be done parallel to the surface of the phantom

provided that the four side faces are parallel to the line normal to the phantom at the centre of the cube face next to the phantom surface. This ensures that the extruded volume is close to a cubical shape, and conformal to the surface.



IEC

Figure C.1 – Extrude method of averaging

C.2.3 Maximum peak SAR finding and uncertainty estimation

The peak local SAR will occur at the inner surface of the phantom, so the peak spatial-average SAR shall occur in a cubical tissue volume at the surface of the phantom. It therefore follows that the zoom scan volume shall be centred on the peak SAR location determined from an area near the surface of the phantom. The zoom scan volume shall extend in all directions at least 1,5 times the linear dimension of the averaging cube used for determining peak spatial-average SAR. Computer controlled algorithms shall be used to determine the highest peak spatial-average SAR according to the local SAR gradients in the interpolated and extrapolated zoom scan volume. The uncertainty contribution of the averaging scheme and maximum finding is included in the evaluation methods of 7.2.10 because that not only serves as a benchmark for the interpolation and extrapolation but also for the averaging and maximum finding schemes.

C.3 Example implementation of parameters for scanning and data evaluation

C.3.1 General

The following describes example parameters for implementing SAR scanning and data evaluation procedures. This is only intended to illustrate one particular implementation; other implementations are possible.

C.3.2 Area scan measurement requirements

For handsets operating above 300 MHz evaluated with the homogeneous head model, the SAR distribution is measured on a two-dimensional coarse grid at a fixed separation distance from the surface of the phantom shell as defined in Table 1. The scan region shall cover all areas encompassed by the projection of the handset. In order to maintain a fixed distance from the surface to within ± 1 mm, as required by the measurement protocol, the exact shape and dimensions of the phantom inner surface shall be known, pre-calibrated, or preferably detected during the SAR measurement with a mechanical or optical surface-detection mechanism that meets the probe positioning requirements. This evaluation technique determines the maximum spacing between the grid points as given in Table 1 to achieve the required precision if two staggered one-dimensional cubic splines [135] are used to locate the maximum SAR location [138].

C.3.3 Zoom scan

The peak spatial-average SAR is evaluated on an interpolated grid at 1 mm resolution after the zoom scan. The zoom-scan volume is positioned at the peak SAR location(s) from the area scan and measured according to the requirements of Table 2. Scan resolutions parallel to the surface, and those normal to the surface of the phantom shall be carefully chosen per Table 2 to achieve the required extrapolation accuracy.

C.3.4 Extrapolation

Because the actual measurement location of the field probe corresponds to the geometrical centre of the dipole sensors, which is displaced from the tip of the probe, the SAR values between the surface of the phantom and the closest measurable points required for computing the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR shall be determined by extrapolation. While a basic exponential fit may not be suitable for extrapolating many of the typical SAR distributions that occur in handset evaluations, a fourth-order least-square polynomial fit of the measured data usually provides satisfactory results. The triangular points shown in Figure C.2 represent the SAR values extrapolated at 1 mm steps for points next to the phantom surface that cannot be measured.

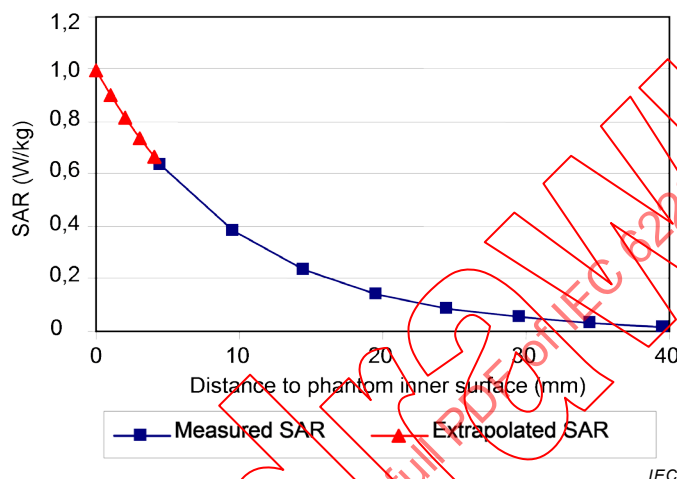


Figure C.2 – Extrapolation of SAR data to the inner surface of the phantom based on a fourth-order least-square polynomial fit of the measured data (squares)

C.3.5 Interpolation

The measured and extrapolated SAR values within the zoom-scan volume are interpolated to a 1 mm grid for use to determine the 1 g or 10 g peak spatial-average SAR for example, by using three staggered one-dimensional cubic splines [135].

C.3.6 Integration

One way to integrate the SAR over a 1 g or 10 g cube is by the basic trapezoidal algorithm. The maximum peak spatial-average SAR is determined by search algorithms that apply numerical integration to all possible 1 g or 10 g cubes within the zoom-scan volume or by applying more complex procedures. If the highest 1 g or 10 g cube is touching the boundary of a zoom-scan volume, the entire zoom scan shall be repeated with the new centre located at the maximum peak spatial-average SAR location indicated by the preceding zoom scan measurement.

Annex D (normative)

SAR measurement system verification

D.1 Overview

This annex provides procedures for the following two levels of SAR measurement system verification:

- a) *system check*;
- b) *system validation*.

The objectives and applications of these different levels of verification procedures are as follows.

The *system check* provides a fast and reliable test method that can be applied routinely to verify SAR system measurement accuracy. The objective here is to ascertain that the SAR system and tissue-equivalent media are acceptable for testing at the operating frequencies of a handset. This test requires a flat phantom and a radiating source, e.g. a half-wave dipole.

System validation provides a means of system-level validation against the specifications of the SAR system and its components. The test set-up consists of a flat phantom and a *system validation* source (see Annex G). This test is performed annually (e.g. after probe calibration), before measurements related to interlaboratory comparison (Annex E), and every time modifications have been made to the system, such as new probes or software changes, adding different readout electronics or probes.

Since a flat phantom is used, both *system check* and *system validation* do not address measurement uncertainty relating to the anthropomorphic SAM phantom and test device positioning variability.

NOTE Interlaboratory comparisons enable SAR measurement reproducibility to be quantified using a reference handset and the anthropomorphic SAM phantom. The measurements address both data scattering due to the SAM phantom and device positioning uncertainty, which are not included in *system check* and *system validation*. The tests can also be used to establish the expected measurement accuracy and uncertainty across various laboratories.

D.2 System check

D.2.1 Purpose

The purpose of the *system check* is to verify that the system operates within its specifications at the device test frequencies. *System check* verifies the measurement repeatability of a SAR system before compliance testing and is not a validation of all system specifications. The latter is not required for testing a device but is mandatory before the system is deployed. The *system check* detects possible short-term drift and unacceptable measurement errors or uncertainties in the system, such as:

- a) incorrect liquid parameters (e.g. due to inaccurate dielectric measurement);
- b) test system component failures;
- c) test system component drift;
- d) operator errors in measurement set-up and measurement parameter settings;
- e) other possible adverse conditions that may introduce measurement errors, e.g. RF interference.

The *system check* is a complete 1 g or 10 g peak spatial-average SAR measurement in a simplified set-up with a system check source (see D.2.3). The instrumentation and procedures in the *system check* shall be the same as those used for the compliance tests. The *system check* shall be performed using the same liquid and probe calibration frequency point as in the compliance tests and within the valid frequency range of the probe calibration, tissue-equivalent dielectric parameters and dipole return loss required for the SAR measurements. The frequencies at which *system check* is performed shall be within 10 % of the mid-band frequencies of the test device when below 1 000 MHz or within 100 MHz of the mid-band frequencies of the test device when above 1 000 MHz. The environmental requirements for *system check* tests are specified in 5.1.

The *system check* shall be performed prior to compliance tests or within 24 h before the SAR evaluation and on the same SAR measurement system that is used for the SAR evaluation of the handset. The *system check* target SAR values may deviate from the numerical target values in Table D.1 and Table D.2 due to design variations, mechanical and electrical uncertainties of the *system check* source, particularly at higher frequencies as explained in Table D.1. Therefore, *system check* target values shall be determined for the individual *system check* source by numerical and experimental validations. The 1 g and 10 g peak spatial-average numerical SAR target values in Table D.1 have been experimentally validated for this Standard using the *system check* test set-up in Figure D.1 and dielectric tissue parameters in Table A.3.

D.2.2 Phantom set-up

A flat phantom shall be used with the tissue-equivalent liquid for *system check* and *system validation*. The specifications for the flat phantom are given in Annex A.

For dipole sources the feed-point shall be centred beneath the flat phantom, and the dipole arms shall be aligned with the major or long axis of the phantom (see Clause G.1 for dipole specifications). The relative permittivity of the phantom shell material shall be between 2 and 5; however, less than 2 may be acceptable only below 3 GHz. The thickness of the flat phantom bottom section shall be 2 mm. The thickness shall be uniform within a tolerance of $\pm 0,2$ mm. The loss tangent of the phantom shell material shall be less than or equal to 0,05. The material shall be resistant to damage or reaction with tissue-equivalent liquid chemicals. When filled with liquid, sagging at the liquid interface and inner surface of the phantom directly above the source (e.g. a dipole) shall be less than 1 % of the free-space wavelength in the frequency range of 800 MHz to 6 000 MHz, and less than 0,5 % of the free-space wavelength at frequencies below 800 MHz. To minimize reflections from the upper surface of the tissue-equivalent liquid, the depth of the liquid shall be at least 15 cm. Liquid depth of less than 15 cm can be used if it is demonstrated (e.g. using numerical simulations) that the effect on peak spatial-average SAR is less than 1 % of the measured SAR under worst-case conditions. If it is more than 1 % but less than 3 %, the worst-case value shall be added to the uncertainty budget.

D.2.3 System check source

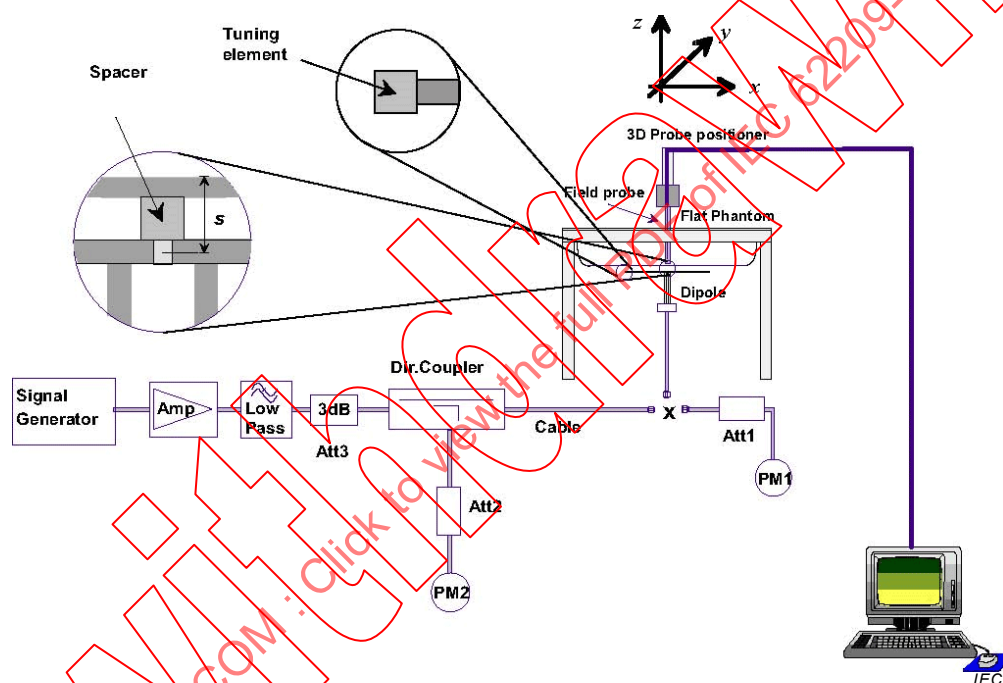
The phantom shall be irradiated using a radiating source for the required frequency (e.g. a half-wave dipole, patch antenna, or waveguide). The sources used for *system validation* (see Annex G) are typically, but not necessarily, used for the *system check*. *System check* source shall have good positioning repeatability, mechanical stability, and impedance matching. In the following, a half-wave dipole is used as an example to illustrate *system check* source positioning requirements. Similar instructions shall be applied for other sources.

A half-wave dipole shall be positioned below the bottom of the phantom and centred with its axis parallel to the longest dimension of the phantom, within $\pm 2^\circ$. The distance between the inner surface of the liquid-filled phantom and the dipole feed-point, s , is specified in Table H.1 for each test frequency. A spacer with low loss (loss tangent $< 0,05$) and low dielectric constant (relative permittivity < 5) shall be used to establish the correct distance between the top surface of the dipole and the bottom surface of the phantom. Below 3 GHz, the spacer shall not change the measured 1 g and 10 g peak spatial-average SAR by more than 1 %,

compared to the no-spacer condition. Above 3 GHz, the spacer may affect the SAR target value of a dipole and needs to be accounted for through additional experimental validation (see first paragraph at the foot of Table D.1). The dipole shall have a return loss greater than 20 dB at the *system check* test frequency, which shall be measured annually during *system validation* using a network analyser, to ensure SAR measurement uncertainty due to power reflection remains low. To meet this requirement, it may be necessary to fine-tune dipoles using low-loss dielectric or metal tuning elements at the ends of a dipole. The acceptable uncertainty for the dipole and liquid separation distance, s , for the test set-up in Figure D.1 shall be within $\pm 0,2$ mm.

D.2.4 System check source input power measurement

The uncertainty of the power delivered to the source shall be as low as possible. This requires the use of a test set-up with directional couplers and power meters during the *system check*. The recommended set-up is shown in Figure D.1 (which uses a half-wave dipole as an example of a *system check* source).



NOTE This set-up uses a dipole antenna as an example to illustrate *system check* source and measurement configurations; same or equivalent set-up applies to other sources.

Figure D.1 – Test set-up for the *system check*

First the power meter PM1 (including attenuator Att1) is connected to the cable to measure the forward power at the location of the connector (X) to the *system check* source. The signal generator is adjusted for the desired forward power at the connector (taking into account the attenuation of Att1) as read by power meter PM1 and also as coupled through Att2 to PM2. After connecting the cable to the source and positioning it beneath the phantom, the signal generator is readjusted to achieve the same reading recorded initially at power meter PM2. If the signal generator does not allow adjustment in 0,01 dB steps, the remaining difference at PM2 shall be taken into consideration (e.g. by scaling the measured SAR values versus the power difference at PM2).

The matching of the *system check* source shall be checked using a network analyser (e.g. during annual performance characterization intervals) to ensure that the reflected power is at least 20 dB below the forward power. If a different source is used where a greater mismatch is inherent to the design of the source (e.g. waveguide source described in Clause G.2), a lower return loss is acceptable only if it has been fully characterized to be

stable and the reflected power is taken into account to determine the net power transmitted by the *system check* source for normalizing the measured peak spatial-average SAR. The specified return loss shall be determined at the frequency at which the *system check* is performed.

The component and instrumentation requirements are as follows.

- a) The signal generator and amplifier outputs shall be stable to within 2 % (after warm-up). The power supplied to the dipole shall produce a peak spatial-average SAR of at least 0,4 W/g. The 1 g or 10 g peak spatial-average SAR range is 0,4 W/kg to 10 W/kg. If the signal generator can deliver 15 dBm or more, an amplifier is generally not necessary if it is connected to the dipole with a low-loss cable. Some high power amplifiers shall not be operated at a level far below their maximum output power, e.g. a 100-W power amplifier operated at 250 mW output power can be too noisy. An attenuator between the signal generator and amplifier is recommended to protect the amplifier input.
- b) The low pass filter inserted after the amplifier reduces the effect of harmonics and noise from the amplifier. For most amplifiers in normal operation range, the filter is not necessary.
- c) The attenuator after the amplifier improves the source matching and the accuracy of the power sensor (consult the power meter manual).
- d) The directional coupler (recommended –20 dB coupling coefficient) is used to monitor the forward power for making adjustments to the signal generator output to maintain constant forward power at PM2. The coupler shall have a return loss greater than 25 dB at the input and output ports. A dual directional coupler is necessary when both forward and reflected power shall be measured, e.g. when waveguides are used.
- e) The power meter PM2 shall have low drift and a resolution of 0,01 dBm; otherwise, the absolute accuracy has negligible impact on the power setting to the dipole.
- f) The power meter PM1 and attenuator Att1 shall be high-quality components. These shall be calibrated, preferably together. The attenuator (–10 dB) improves the accuracy of the power reading (some high-power heads come with a built-in calibrated attenuator). The exact attenuation of the attenuator at the test frequency shall be known. For some attenuators this can vary by more than $\pm 0,2$ dB from the specified value across the frequency band of operation.
- g) A fixed power level setting shall be used for PM1 and PM2 to avoid linearity and range switching uncertainties in the power measurements. If power level is adjusted, the same power level setting shall be used for PM1 and PM2.
- h) The *system check* source shall be connected directly to the cable at location X. If the power meter has a different connector type, high-quality adapters shall be used.
- i) The insertion loss of cables, especially the cable that connects the directional coupler to the antenna, shall be checked periodically to ensure the insertion loss is stable across frequencies. It should be considered that a cable that works well at one frequency (e.g. 900 MHz) will not perform equivalently at a different frequency (e.g. 5 GHz). During *system check* measurements, all cable movements shall be avoided as this may cause changes to cable loss characteristics and introduce SAR errors.

D.2.5 System check procedure

System check is a complete 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR measurement. The measured 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR is normalized to 1 W by the input power of the *system check* source (forward power for dipoles and net power for waveguides) and compared with the numerically and experimentally validated target 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR value established for the *system check* source.

The *system check* target values shall not deviate by more than ± 10 % from the numerical target values in Table D.1 or D.2. If this cannot be maintained for the reasons described in D.2.1 for higher frequency sources, the measured 1 g (or 10 g) peak spatial-average SAR value shall not deviate from the validated target SAR value for the *system check* source

(described in D.2.3) by more than the expanded uncertainty for reproducibility (Table 13), or $\pm 5\%$, whichever is less.

The measured 1 g (or 10 g) peak spatial-average SAR value shall not deviate by more than $\pm 10\%$ from the numerical target values (Table D.1 or Table D.2). If this cannot be maintained for the reasons described in D.2.1, the measured 1 g (or 10 g) peak spatial-average SAR value shall not deviate from the validated target SAR value for the *system check* source (described in D.2.3) by more than the expanded uncertainty for reproducibility (Table 13), or $\pm 5\%$, whichever is less. The validated target SAR value for the *system check* is evaluated at least annually, as explained in Clause D.1.

D.3 System validation

D.3.1 Purpose

The *system validation* procedure tests the SAR system using standard dipoles and waveguides defined for this Standard to verify the measurement accuracy and performance of probe, readout electronics and system software. It is a validation of the system with respect to all performance specifications. This set-up utilizes a flat phantom and a *system validation* source defined in Annex G. Thus, this validation process does not include data scattering and device positioning uncertainty due to the anthropomorphic SAM phantom. *System validation* shall be performed at least annually, when a new system is put into operation, or whenever modifications have been made to the system, such as software updates, using different readout electronics or probes and after probe calibration. *System validation* shall be done with a calibrated probe.

The objective of Clause D.3 is to provide a methodology for SAR measurement *system validation*. Since SAR measurement equipment, calibration techniques, phantoms, and head tissue-equivalent liquids can vary among laboratories, a validation methodology is needed to ascertain that uniform results can be achieved according to defined measurement procedures and uncertainty requirements. Numerically calculated target SAR values for the *system validation* sources defined in Annex G are listed in Table D.1 and Table D.2. The environmental requirements for *system validation* tests are as specified in 5.1.

D.3.2 Phantom set-up

The flat phantom set-up described for the *system check* (see D.2.2 and Figure D.1) is also used for the *system validation* tests. The *system validation* shall be performed using head tissue-equivalent liquids having dielectric properties as defined in Table A.3.

D.3.3 System validation sources

Two types of *system validation* sources are defined: standard dipoles and a standard waveguide source (both described in Annex G).

When dipoles are used, the phantom shall be irradiated using a standard dipole specified in Clause G.1 for the required frequency. The dipole shall be positioned below the flat phantom and centred with its axis parallel to the longest side of the phantom. A low loss and low dielectric constant spacer should be used to establish the correct distance between the top surface of the reference dipole and the bottom surface of the phantom. Below 3 GHz, the spacer shall not change the measured 1 g and 10 g peak spatial-average SAR values by more than 1 %, compared to the no-spacer condition. Above 3 GHz, the spacer may affect the measured SAR and introduce deviations from the numerical target values in Table D.1; therefore, experimentally validated SAR targets with specific spacers shall be used (see first paragraph at the foot of Table D.1). The distance between the liquid surface and the reference dipole centre (designated s in Figure D.1) shall be within $\pm 0,2$ mm of the required distance for each test frequency. The reference dipole shall have a return loss greater than 20 dB (measured in the *system validation* measurement set-up conditions) at the test frequency to reduce power reflection and SAR measurement uncertainty. To meet this

requirement, it may be necessary to fine tune the standard dipoles by using low-loss dielectric or metallic tuning elements at the end of the dipole.

For the standard dipoles described in Clause G.1, the separation distance s is given by:

$s = 15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ for $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1\,000 \text{ MHz}$;

$s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ for $1\,000 \text{ MHz} < f \leq 6\,000 \text{ MHz}$.

The dipole arms shall be parallel to the flat surface of the phantom within a tolerance of $\pm 2^\circ$ or less (see Figure D.1). This can be assured by carefully positioning the standard dipole horizontally against the liquid-filled phantom and comparing the separations at the ends of the dipole.

The numerical target values in Table D.1 for frequencies above 5 000 MHz require specific considerations due to high sensitivity of those values to the construction details of small dipoles. The numerical target values in Table D.1 may deviate from the actual dipole target values validated by the dipole manufacturer. The dielectric spacer used for the dipole shall also be modelled as it can affect the numerically determined SAR value.

Waveguide sources are suitable alternatives to dipole antennas at higher frequencies where the dipole antenna target values may be sensitive to manufacturing uncertainties and construction details. Example waveguide sources are described in Clause G.2 for 5,2 GHz and 5,8 GHz, and the numerical target SAR values are provided in Table D.2 for the specific measurement configurations. The waveguide source is positioned with the matching window in direct contact with the phantom. The net power shall be measured to correctly scale the SAR.

D.3.4 Reference dipole input power measurement

The input power measurement set-up described for the *system check* (see D.2.4) is also used for *system validation* tests.

D.3.5 System validation procedure

System validation is used to verify the measurement accuracy of a complete SAR system, including the software algorithms. Test device positioning and head phantom shape uncertainties are not considered during *system validation*. The *system validation* procedure consists of up to six steps, a) to f). Step a) is the most important part of the *system validation* procedure and shall be done for each combination of the probe, readout electronics and measurement and post-processing system version that is used to evaluate every time when *system validation* is required. Then the applicable selection(s) from Steps b) to f) shall be performed. These additional tests shall be done every time when system components have been modified (e.g. new software release, new readout electronics, new probe or calibrations). Step f) is optional provided the equivalent information is included in the probe calibration certificate and is readily available to the user, which the user should confirm. The *system validation* procedure is as follows.

- a) **SAR evaluation:** A complete 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR measurement is performed. The input power of the *system validation* source is adjusted to produce a 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR value within the range of 0,4 W/kg to 10 W/kg. The 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR is measured at the frequencies in Table D.1 or Table D.2 within the range of parameters supported by the SAR system. For dipole sources, the results are normalized to 1 W forward power and compared with the numerical SAR values shown in Table D.1 (Columns 3 or 4). For waveguide sources the results shall be normalized to 1 W net power, and compared to the normalized numerical target SAR values in Table D.2. The differences between the measured values and the numerical target values shall be less the expanded uncertainty for the *system validation* using the procedures of Table 12 but not more than 10 %.
- b) **Extrapolation routine:** Local SAR values are measured along a vertical axis directly above the centre of the *system validation* source (i.e. dipole feed-point or centre line of

waveguide) using the same test grid-point spacing as used for the zoom scan in handset SAR evaluations. The measured values are extrapolated to the phantom surface and compared to the appropriate numerical target value given in Table D.1 or Table D.2. If the dipole source is used, this measurement is repeated along another vertical axis with a 2 cm transverse offset (y -direction of Figure D.1) from the standard dipole feed-point. SAR values are extrapolated to the phantom surface and compared with the normalized numerical values given in Column 6 of Table D.1. The difference between the extrapolated values and the numerical target values given in Table D.1 (or values for the specific source used) shall be less than the expanded uncertainty for the *system validation* using the procedures of Table 12 or 15 %, whichever is less. Note that Step b) may be performed at the same time as Step a) if an enlarged zoom scan is used in Step a) to provide the extrapolated SAR values.

- c) **Probe linearity for CW – equivalent signals:** The measurements in Step a) are repeated using different reference dipole input power levels. The power levels for each frequency are selected to produce 1 g or 10 g peak spatial-average SAR values of approximately 10 W/kg, 2 W/kg, 0,4 W/kg and 0,12 W/kg. The measured SAR values are normalized to 1 W forward power for dipole sources (or 1 W net power for waveguide sources) and compared with the normalized values from Step a). The difference between these values shall be less than the expanded uncertainty for the linearity component using the procedures of Table 12 and 7.2.2.3 or 10 %, whichever is less.
- d) **Probe linearity for periodic pulse modulated signals:** This step shall be conducted after Step c) requirements are satisfied. The measurements in Step a) are repeated with pulse-modulated signals having a duty factor of 0,1 and pulse repetition rate of 10 Hz. The power is adjusted to produce a 1 g or 10 g peak spatial-average SAR of approximately 8 W/kg with the periodic pulse modulated signal or a peak SAR of approximately 80 W/kg. The measured SAR values are normalized to 1 W forward input power and duty factor of 1, and compared with the 1 W normalized values from Step a). The difference between these values shall be less than the expanded uncertainty for *system validation* using the procedures of Table 12 or 10 %, whichever is less.
- e) **Probe linearity for digital modulations with random amplitude and phase characteristics (e.g. CDMA and OFDM signals):** The measurements in Step a) are repeated with the specific modulations that will be tested by the laboratory. This test may be done at just one frequency per modulation. These modulations have high peak-to-average power ratios. The power is adjusted to produce a 1 g peak spatial-average SAR of approximately 8 W/kg. If the peak-to-average power ratio of the specific modulation is high enough such that the peak local SAR exceeds the dynamic range of the system, the input power should be reduced to produce a 1 g peak spatial-average SAR lower than 8 W/kg but still as high as possible. The measured SAR values are normalized to 1 W forward input power for dipole source (or 1 W net power for waveguide sources) and duty factor of 1, and compared with the normalized value from Step a). The difference between these values shall be less than the expanded uncertainty for *system validation* using the procedures of Table 12 or 10 %, whichever is less.
- f) **Axial probe isotropy:** The geometric centre of the sensors of the probe is placed directly above the centre of the *system validation* source at a measurement distance of approximately 1 probe tip diameter from the inner phantom surface. The probe is rotated around its axis $\pm 180^\circ$ in steps no larger than 15° . The maximum and minimum SAR readings are recorded. The difference between these values shall be less than the expanded uncertainty for the axial isotropy component using the procedures of Table 12 and 7.2.2.2 or 5 %, whichever is less.

NOTE The *system validation* procedure is neither an alternative to probe calibration nor to the uncertainty estimation of Clause 7. The probe and readout electronics are calibrated regularly according to the procedures given in Annex B. Probe hemispherical isotropy is not considered in the protocol for *system validation*.

D.3.6 Numerical target SAR values

Table D.1 shows the numerically validated target SAR values for *system validation* (see D.3.5), using the standard dipoles described in Clause G.1. The numerical target SAR values in Table D.1 were calculated using the finite-difference time-domain method using the phantom requirements in Annex H and Table H.1, and also validated against measured results with equivalent test set-ups for 300 MHz to 5 800 MHz. The local SAR values in

Columns 5 and 6 of Table D.1 were experimentally verified for each test frequency using fourth-order polynomial extrapolation. The values above 3 GHz are dependent on the dipole spacer used and detailed construction of the dipoles; therefore, individual dipole targets may vary from the values in Table D.1 by as much as $\pm 10\%$. The reason is that the dipole dimensions are short with respect to arm diameter and spacer dimensions, i.e. the numerical target values are not generic and need to be determined for a particular configuration.

**Table D.1 – Numerical target SAR values (W/kg)
for standard dipole and flat phantom**

Frequency MHz	Phantom shell thickness mm	1 g SAR W/kg	10 g SAR W/kg	Local SAR at surface (above feed-point) W/kg	Local SAR at surface ($y = 2$ cm offset from feed-point) ^a W/kg
300	6,3	3,02	2,04	4,40	2,10
300	2,0	2,85	1,94	4,14	2,00
450	6,3	4,92	3,28	7,20	3,20
450	2,0	4,58	3,06	6,76	2,98
750	2,0	8,49	5,55	12,6	4,59
835	2,0	9,56	6,22	14,1	4,90
900	2,0	10,9	6,99	16,4	5,40
1 450	2,0	29,0	16,0	50,2	6,50
1 500	2,0	30,5	16,8	52,8	6,53
1 640	2,0	34,2	18,4	60,4	6,69
1 750	2,0	36,4	19,3	64,9	6,53
1 800	2,0	38,4	20,1	69,5	6,80
1 900	2,0	39,7	20,5	72,1	6,60
1 950	2,0	40,5	20,9	72,7	6,60
2 000	2,0	41,1	21,1	74,6	6,50
2 100	2,0	43,6	21,9	79,9	6,58
2 300	2,0	48,7	23,3	92,8	7,18
2 450	2,0	52,4	24,0	104	7,70
2 600	2,0	55,3	24,6	113	8,29
3 000	2,0	63,4	25,6	142	9,50
3 500	2,0	67,1	25,0	169	12,1
3 700	2,0	67,4	24,2	178	12,7
5 000	2,0	77,9	22,1	305	15,1
5 200	2,0	76,5	21,6	310	15,9
5 500	2,0	83,3	23,4	349	18,1
5 800	2,0	78,0	21,9	341	20,3

The values above 3 GHz depend on the dipole spacer and detailed construction of the dipoles and may vary by as much as $\pm 10\%$. The reasons are that the dipole dimensions are short with respect to arm diameter and spacer dimensions, i.e. the numerical target values are not generic and need to be determined for a particular test set-up. Also, the results can be sensitive to the permittivity of the phantom shell (see Onishi and Uebayashi [123] for details). For these reasons, the laboratory shall determine target SAR values for the particular test set-up using numerical and experimental methods.

The dipole forward power shall be limited so that the measured SAR values are within the dynamic range of the probe to avoid probe damage.

NOTE 1 All SAR values are normalized to 1 W forward power.

NOTE 2 The 1 g and 10 g target SAR values are only valid for the *system validation* defined in Clause D.3, using dipoles having dimensions as defined in Clause G.1.

^a The nonmonotonic behaviour of the local SAR values at 2 cm transverse offset from the feed-point for 1 640 MHz to 2 100 MHz is due to tissue-equivalent liquid conductivity values selected for these frequencies (see Table A.3).

Table D.2 shows the target SAR values for *system validation* using waveguide sources described in Clause G.2. The numerically validated target SAR values are dependent on the relative permittivity of the phantom shell; therefore, target values are given for relative shell permittivities of 3, 4 and 5. Linear interpolation shall be applied for phantom shell permittivities between these values. The numerical target SAR values of Table D.2 are for 1 W measured net power into the waveguide, and were calculated using the finite-difference time-domain method with volume averaging requirements described in IEEE C95.3-2002 and verified by measurements. The power delivered to the phantom is equal to the forward power into the waveguide source minus the reflected power and waveguide transmission losses (including losses in the adapter and walls of the waveguide). The transmission loss of the adapter can be determined by measuring S_{11} at its coaxial port with three different known waveguide standards connected to the waveguide port, for example a short plus two different offset shorts (short-circuited transmission lines at different offset lengths). The waveguide transmission loss shall be measured at least annually using a calibrated network analyser.

The waveguide used in the simulations was modelled as a perfect electric conductor with a matching dielectric window having dimensions as specified in Clause G.2. The phantom used in the simulations has a length of 216 mm, a width of 152 mm, a depth of 80 mm and a shell thickness of 2 mm. The dielectric parameters of the liquid are as defined in Table A.3.

Table D.2 – Numerical target SAR values for waveguides specified in Clause G.2 placed in contact with flat phantom [94]

Frequency MHz	Phantom shell relative permittivity	1 g SAR W/kg	10 g SAR W/kg	Local SAR as a function of distance d [mm] into the phantom along its centre line
5 200	3	165	53,7	$667 \exp(-2d/6,2)$
	4	180	56,5	$733 \exp(-2d/6,2)$
	5	194	59,1	$796 \exp(-2d/6,2)$
5 800	3	165	49,3	$804 \exp(-2d/5,5)$
	4	184	52,5	$907 \exp(-2d/5,5)$
	5	200	55,2	$982 \exp(-2d/5,5)$

In case the net power produces measured SAR values that are above the dynamic range of the probe, lower powers shall be used so as not to introduce additional measurement uncertainty or damage the probe.

NOTE 1 All SAR values are normalized to 1 W net power (i.e. the power delivered to the phantom).

NOTE 2 The 1 g and 10 g reference SAR values are only valid for the *system validation* defined in Clause D.3, using waveguides having dimensions and construction as defined in Clause G.2.

D.4 Fast SAR method *system validation* and *system check*

D.4.1 General

Fast SAR methods described in 6.6 are in general based on assumptions or approximations that are typical of each fast SAR method and deviate from the standard measurement procedure. For a given SAR measurement system, since fast SAR methods falling into the class described in 6.6 are based on simplifications and approximations which are specific to each singular approach, *system check* and *system validation* methods required for full SAR measurements have been considered insufficient for dealing with 6.6 fast SAR methods. New *system check* and *system validation* methods are hence introduced in Clause D.4.

D.4.2 relates to fast SAR method *system validation* that shall be done by the method developer. It defines a set of minimal requirements or principles to be followed by the fast SAR method developer to validate that the method has been implemented correctly. These requirements are also minimum requirements applicable to fast SAR methods described in Annex K. The developer shall clearly document the computations, measurements and other assessments performed to validate the fast SAR method for users to determine how to apply the specific method for SAR evaluation. Any additional analyses or conditions the user shall satisfy to apply the fast SAR method shall be clearly specified.

D.4.3 describes the fast SAR method *system check* the user shall perform. For a given SAR measurement system, a single *system check* source may be used for both full SAR and fast SAR using the procedures in Clause D.2 and D.4.3.

D.4.2 Fast SAR method *system validation*

Fast SAR *system validation* is a way to quantify the validity and reliability of the method. Since the validation and the measurement uncertainty are both determined by the developer of the fast SAR method, the *system validation* serves also as a sanity check of the uncertainty budget. The following principles are applied for *system validation* of a fast SAR method.

- Multiple radiating sources with SAR distributions suitable for validating the method shall be used. The sources may be wireless handsets or other sources that comply with the requirements of D.4.2. Multiple samples (e.g. one sample for each band) can be used for fast SAR method *system validation*. The developer shall demonstrate that the fast SAR method is not biased by the selected sources or SAR distributions in validating or calibrating the method to such sources.
- The *system validation* shall be performed over the full range of operating frequencies, modulations, power levels (e.g. 10 g peak spatial-average SAR between 0,1 W/kg and 10 W/kg), device operating configurations, exposure conditions and SAR distributions that are specified with the method.
- The sources chosen shall cover the range of SAR distributions (e.g. distributions with a SAR which is larger than –3 dB of a local maximum within a radius ranging from 5 mm to 50 mm; dominant polarization both normal and parallel to the phantom surface; locations within the measurement area defined by the fast SAR system; and number of SAR peaks) supported by the fast SAR method. The fast SAR method developer shall specify the sources used to validate the particular fast SAR method and provide the necessary validation details to ensure users can apply the method correctly.
- The radiating sources shall be chosen so that the measurement uncertainty during *system validation* is not strongly dependent on or dominated by the source (e.g. positioning, source uncertainty) and phantom configurations.
- A minimum of 10 configurations shall be tested, per frequency band, so that there is high confidence in the *system validation*. This could be achieved, for example, by using two radiating sources at five different distances or orientations.

SAR uncertainty for fast SAR method *system validation* is determined by comparing the peak spatial-average SAR determined with the fast SAR technique, $SAR_{fast\ i}$ with the target SAR of the full SAR assessment, $SAR_{full\ i}$ for the i -th test configuration (radiating source, frequency,

SAR distribution) The standard deviation of the difference between the two methods is determined according to the following formulas:

$$SAR_{tol}[\%] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \mu)^2} \quad (D.1)$$

$$\Delta_i[\%] = 100 \times \left(\frac{SAR_{fast_i} - SAR_{full_i}}{SAR_{full_i}} \right) \quad (D.2)$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i \quad (D.3)$$

The *system validation* shall be applied separately for each frequency band and modulation supported by the fast SAR method.

The standard deviation of Formula (D.1) shall be within the standard uncertainty of the fast SAR method (Table 14). Otherwise, the developer of the fast SAR method shall either revise the combined uncertainty of the fast SAR method in accordance with the *system validation* results, or consider whether the fast SAR method is applicable.

The fast SAR method *system validation* shall be performed when modifications to the fast SAR measurement or post-processing algorithms are made. A summary of the developer's *system validation* methods and results shall be described in the SAR report to support the test results.

D.4.3 Fast SAR method *system check*

SAR *system check* is an easy way for laboratories to verify the reliability and consistency of the fast SAR method implemented in a SAR system. The fast SAR method *system check* requirements are similar to the *system check* of the full SAR system, as described in Clause D.2. The following principles apply for SAR *system check*.

- It is applied separately for each frequency band in which components of the system (e.g. probe, tissue equivalent liquid) are different.
- It shall be performed within 24 h before the fast SAR measurement of the handset under test.
- It shall be performed on the same measurement system that is used for the fast SAR evaluation of the handset under test.
- It is performed using a single *system check* source (either the dipole antenna or waveguide sources and set-up described in Clause D.2 or another well characterized source). The fast SAR reference value for the source shall be determined for the fast SAR *system check* set-up, and a measurement uncertainty budget for the *system check* shall be provided.
- The fast SAR *system check* measurement result is compared to the fast SAR reference value for the same source and frequency band. The result shall be within two standard deviations of the fast SAR measurement uncertainty for *system check*, but not larger than $\pm 10 \%$. Otherwise, the fast SAR system shall not be used.

Annex E (normative)

Interlaboratory comparisons

E.1 Purpose

The purpose of the interlaboratory comparison is to validate various SAR measurement systems by comparing results from several different laboratories. The general concept is to use reference handsets and the SAM anthropomorphic phantom filled with a head tissue-equivalent liquid having dielectric parameters as specified in Table A.3. The SAR assessment methodologies described in Clause 6 are used.

The measured data from various laboratories shall be compared. Also, a comparison of measurement uncertainty analyses among the test laboratories shall be performed. If the differences and discrepancies between the measured data can be attributed to differences in the measurement uncertainties, the interlaboratory comparison is deemed to be successful. If not, all sources of uncertainties shall be investigated per the recommendations of Clause 7. Also, other possible sources of uncertainties different from those defined in Clause 7 shall be considered.

NOTE General guidelines for accomplishing interlaboratory comparison tests are given for example in [35], [66].

E.2 Phantom set-up

The anthropomorphic phantom is described in 5.2 and Annex A. The phantom shall have a mounting structure made of a rugged material with low permittivity (less than 5) and loss tangent (less than 0,05). Metallic parts closer than 50 cm from the structure shall be avoided. The phantom shall be irradiated using a reference handset mounted according to the test positions described in 6.2.4.

E.3 Reference wireless handsets

Reference handsets are commercial wireless handsets that are maintained and distributed in accordance with ISO/IEC 17043:2010. The designation of the supplier is based on the agreement between the participating parties.

E.4 Power set-up

The power set-up is dependent on the precision of the output power measurement of the reference device used for the interlaboratory comparison. Each device is individually checked by the participating laboratory so that the maximum conducted output power of each device is in the range of $\pm 0,3$ dB of the reference value. The measured output power shall be reported to the monitor laboratory. The device output power shall be adjusted via test software to a predetermined value. The device battery shall be fully charged.

Careful effort shall be expended to ensure an accurate output power measurement. Some devices may allow easy and accurate output power measurements at the antenna port. The ease of output-power measurement shall be considered when designating reference handsets for use in the comparison tests. If deemed necessary, the reference handsets shall be returned to a monitor laboratory periodically during the comparison campaign for output power and frequency verification. Also, the battery condition shall be checked by the monitor laboratory, to ensure uniform power output at all laboratories.

E.5 Interlaboratory comparison – Procedure

Measurement procedures for SAR assessment used in the interlaboratory comparison are the same as those used for compliance testing in accordance with Clause 6. When a full SAR system or a fast SAR system is used, the interlaboratory comparison shall be performed with a calibrated and validated system. Each laboratory shall provide a full test report in accordance with the requirements of Clause 7 and 7.2.3 including *system validation*, liquid measurements, system uncertainty data, and measured output power data. If a fast SAR system that does not meet all of the specifications of this International Standard is used to perform SAR measurements, the uncertainty should follow general guidance provided in Clause K.2 if applicable.

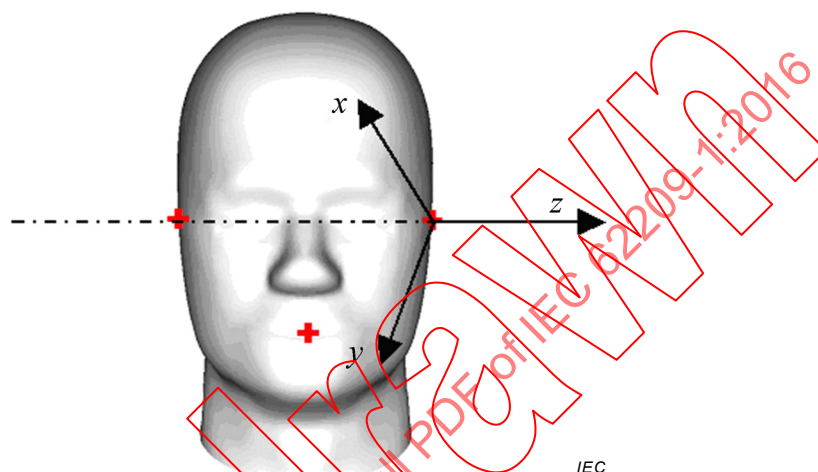
Results of the interlaboratory comparison shall fall within the expanded uncertainty for exposure assessment from Clause 7. The reports from different laboratories are to be evaluated and compared by the designated monitor laboratory.

Withd 2016
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Annex F (informative)

Definition of a phantom coordinate system and a device under test coordinate system

The offset and rotation between these optional reference coordinate systems can be used to provide an unambiguous description of device position relative to the phantom. A definition of the phantom coordinate system for the left ERP is illustrated in Figure F.1.



Key

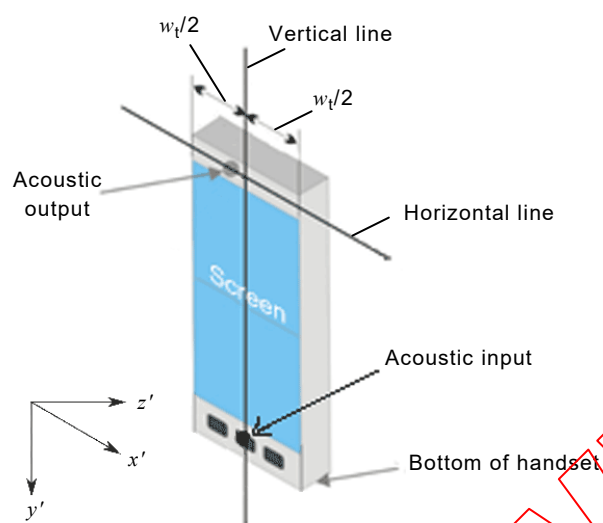
x, y, z Axes of the coordinate system relative to the phantom

Figure F.1 – Example reference coordinate system for the left ERP of the SAM phantom

The x -, y - and z -axes shall form a right-handed coordinate system. For the left ERP, the axes are defined as follows.

- The z -axis is defined by a connecting line between the left and the right ERPs, and points from the right to the left from the point of view of the phantom. The $z = 0$ origin is at the left ERP.
- The y -axis lies in the reference plane along the B-M line (Annex A.2) and is perpendicular to the z -axis.
- The x -axis is perpendicular to the reference plane along the N-F line (Annex A.2) and cuts the reference plane at the left ear reference point.

For the right ERP, the reference coordinate system can be defined analogously where the x - and y -axes are the same as in left ERP configuration with z -axis pointing from left to right. A definition of a device under test (DUT) coordinate system is shown in Figure F.2.

**Key**

x' , y' , z' Axes of the coordinate system relative to the handset

Figure F.2 – Example coordinate system on the device under test

Annex G (informative)

SAR system validation sources

G.1 Standard dipole source

The standard dipole antennas of Figure G.1 with mechanical dimensions given in Table G.1 will produce the SAR values given in Table D.1 when the *system validation* test of D.3.5 is followed. If dipole antennas are used that have different dimensions than those given in Table G.1, or if dipole antennas are used at frequencies other than those listed in Table G.1, the reference SAR values for those sources shall be documented and independently verified using procedures that are consistent with the methodologies described in this Standard.

The reference dipole shall have a return loss better than 20 dB at the test frequency to reduce the uncertainty in the power measurement. To meet this requirement, it is acceptable to fine-tune the reference dipoles by using low-loss dielectric or metal tuning elements at the ends of the dipole (see Figure D.1).

Table G.1 – Mechanical dimensions of the reference dipoles

Frequency	Phantom shell thickness	L	h	d_1
MHz	mm	mm	mm	mm
300	6,3	396,0	250,0	6,35
300	2,0	420,0	250,0	6,35
450	6,3	270,0	166,7	6,35
450	2,0	290,0	166,7	6,35
750	2,0	176,0	100,0	6,35
835	2,0	161,0	89,8	3,6
900	2,0	149,0	83,3	3,6
1 450	2,0	89,1	51,7	3,6
1 500	2,0	80,5	50,0	3,6
1 640	2,0	79,0	45,7	3,6
1 750	2,0	75,2	42,9	3,6
1 800	2,0	72,0	41,7	3,6
1 900	2,0	68,0	39,5	3,6
1 950	2,0	66,3	38,5	3,6
2 000	2,0	64,5	37,5	3,6
2 100	2,0	61,0	35,7	3,6
2 300	2,0	55,5	32,6	3,6
2 450	2,0	51,5	30,4	3,6
2 600	2,0	48,5	28,8	3,6
3 000	2,0	41,5	25,0	3,6
3 500	2,0	37,0	26,4	3,6
3 700	2,0	34,7	26,4	3,6
5 000 to 6 000	2,0	20,6 ^a	40,3 ^a	3,6

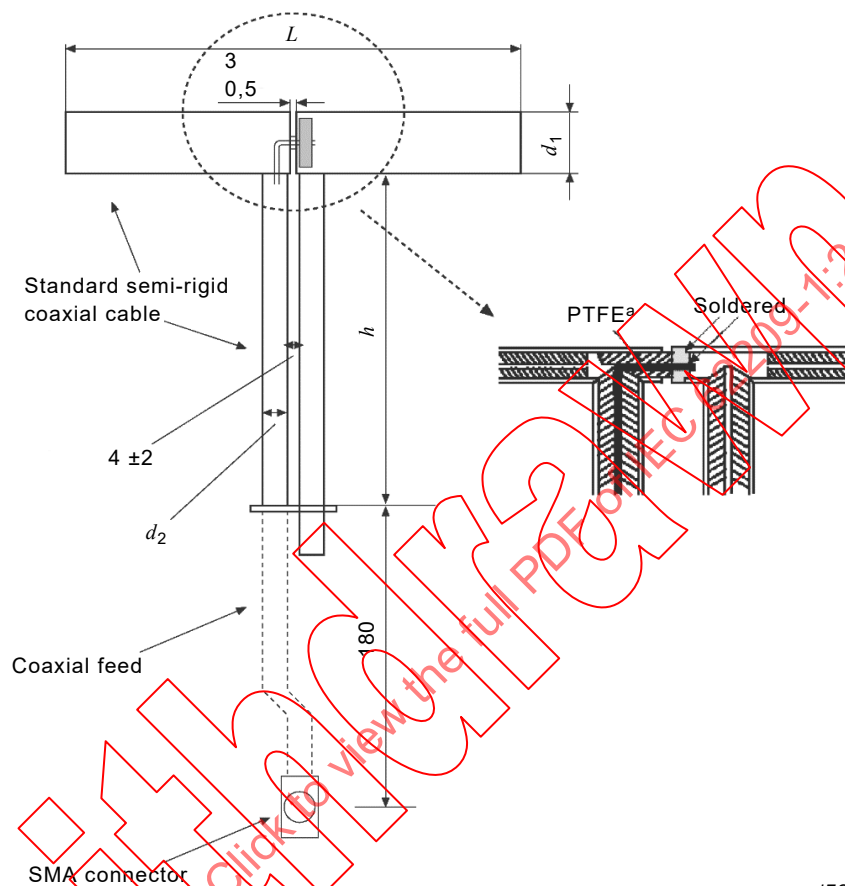
The L , h , and d_1 dimensions shall be within ± 1 % tolerance.

^a These dimensions are applicable for a coaxial diameter at the balun of $d_2 = 2,1$ mm (see Figure G.1).

The reference dipole arms shall be parallel to the flat surface of the phantom within a tolerance of $\pm 2^\circ$ or less (see Figure D.1). This can be assured by carefully positioning the empty phantom and the reference dipole to horizontal level using a spirit level.

The numerical target values above 3 GHz cannot be universally given as for below 3 GHz due to the greater effect from the spacer, phantom shell and mechanical uncertainties. Thus, the numerical target values may be different from one dipole to another. It is important that for each dipole used for *system validation* a fully documented analysis is provided based on both numerical simulations and experimental validation.

Dimensions in millimetres



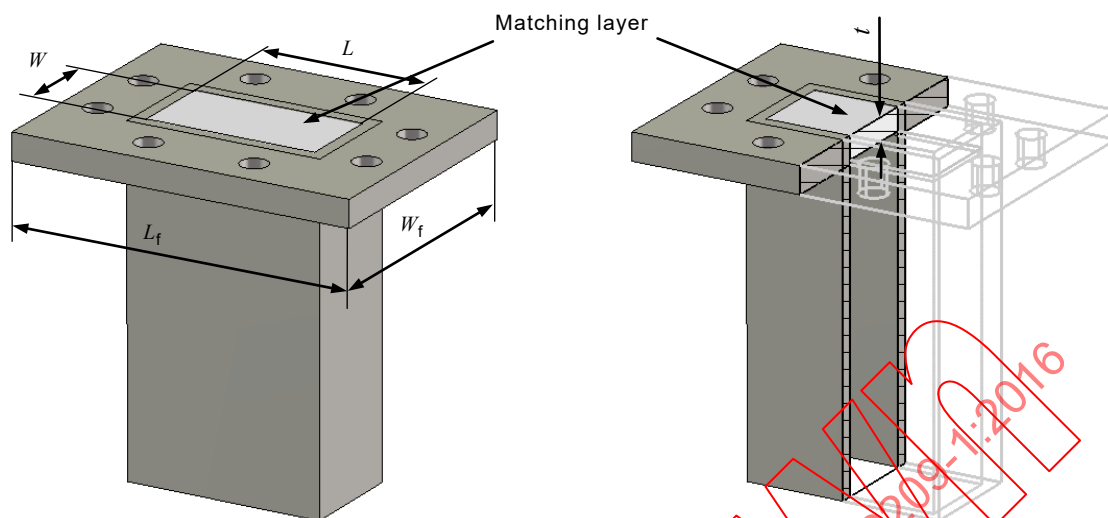
Key

- L Length of the dipole
- d_1 Diameter of the dipole
- d_2 Diameter of the coaxial cable at the balun
- h Length of the balun choke section
- ^a PTFE = polytetrafluoroethylene.

Figure G.1 – Mechanical details of the standard dipole

G.2 Standard waveguide source

The standard waveguide source of Figure G.2 with mechanical dimensions given in Table G.2 (corresponding to WR159 or UK WG-13 with a IEC-UDR58 flange according to IEC 60154-2) will produce the SAR values given in Table D.2 when the *system validation* test of D.3.5 is followed. The waveguide feed shall be placed at least one wavelength away from the matching layer to ensure that higher order modes have vanished. The waveguide transmission loss shall be characterized by measurement with a network analyser. If waveguides are used that have different parameters than those given in Table G.2, or if waveguides are used at frequencies other than those listed in Table G.2, the reference SAR values for those sources shall be documented and independently verified (e.g. by comparison of numerical simulations to measurements).



IEC

Figure G.2 – Standard waveguide source (dimensions are according to Table G.2)

Table G.2 – Mechanical dimensions of the standard waveguide

Frequency MHz	Phantom shell thickness mm	L mm	W mm	L_f mm	W_f mm	t mm	ϵ_r
5 200	2	40,39	20,19	81,03	61,98	5,3	6
5 800	2	40,39	20,19	81,03	61,98	4,3	6

NOTE L and W are the inner length and width of the waveguide, L_f and W_f are the length and width of the waveguide flange, and t and ϵ_r are the thickness and relative permittivity of the matching layer. The tolerance for L and W is $\pm 0,13$ mm. The matching layer is a lossless dielectric slab that fills the cross-sectional $L \times W$ area of the waveguide. The waveguide and matching layer are in direct contact with the phantom shell. The minimum height of the waveguide (from the feed to the flange) is one free-space wavelength. This arrangement gives an input return loss of at least 8 dB. The uncertainty of the permittivity and thickness of the dielectric slab are included in the return loss. Therefore, these do not need to be specified independently.

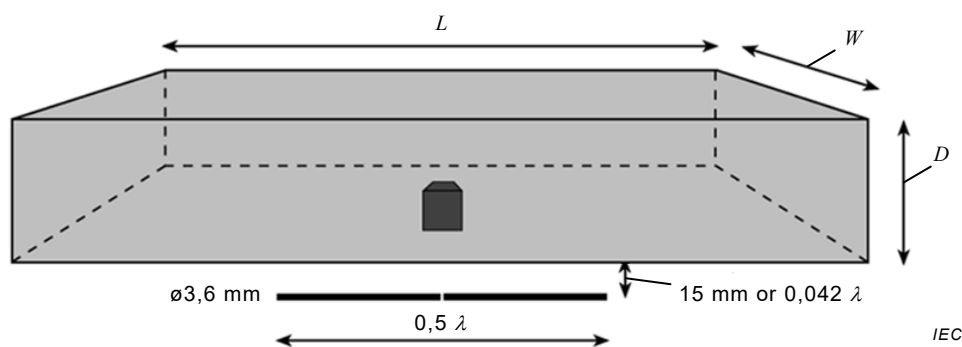
Annex H (informative)

Flat phantom

The influence of the dimensions of the flat phantom (see Figure H.1) on the absorbed energy in a 10 g cube inside the liquid-only phantom (without box) was assessed numerically using a commercial FDTD code. The phantom was illuminated with a matched dipole antenna at a distance of 15 mm ($0,042 \lambda$ at 840 MHz). The dimensions of the phantom (W and L) were varied between $0,4 \lambda$ and 3λ . The power absorbed in the cube was alternately normalized to a feed-point current of 1 A, or a feed-point power of 1 W. Although deviations occur in the absorbed power in the cube when normalized either to the feed-point power or the feed-point current, the minimum dimensions necessary to keep the uncertainty below 1 % were determined for both methods of normalization. At 800 MHz, the above conditions are met for dimensions of the flat phantom larger than $0,6 \lambda$ in both length and width, as shown in Figure H.2. The influence of the width of the phantom is not very large. However, the length shall be at least $0,6$ and $0,4$ wavelength, in air, along the major and minor dimensions respectively, to ensure that the effect of phantom dimensions on SAR is less than 1 %. The dimensions of the phantom set-up can be scaled in terms of the free-space wavelength. The dependence on the liquid properties is not very critical as long as it is relatively lossy.

Because of its larger size, a 10 g averaging cube will be more sensitive to dimension changes, i.e. the uncertainty associated with the 1 g average will be smaller than that of the 10 g average. The effects resulting in differences depend on perturbations of the dipole current magnitude and spatial distribution. Since the dipole dimensions are large compared with the SAR averaging volumes, the perturbations will increase with volume size. Although the depth used in this study was 10 cm, instead of the 15 cm required for the flat phantom in Clause A.3, it is 2,57 times the penetration depth at 840 MHz, and therefore the power reflection at the liquid surface is negligible (less than 1 %).

The numerical target SAR values of Table D.1 were calculated using the FDTD method. The parameters for the lossless phantom shell used in simulations (dimensions, shell thickness, and permittivity), and the distance s between the reference dipole and liquid are given in Table H.1. The phantom dimensions used in this table produce the same SAR values as a phantom that meets the requirements of Clause A.3, within the uncertainty of the SAR test system. The phantom dimensions recommended in Clause A.3 are to be used for *system check* and *system validation*. The dielectric properties used for the liquid are defined in Table A.2 and the dimensions of the reference dipoles are shown in Table G.1.



Key

L phantom length

W phantom width

D phantom depth

λ free-space wavelength

NOTE A 10 g cube is shown at the bottom centre of the flat phantom.

Figure H.1 – Dimensions of the flat phantom set-up used for deriving the minimal phantom dimensions for W and L for a given phantom depth D

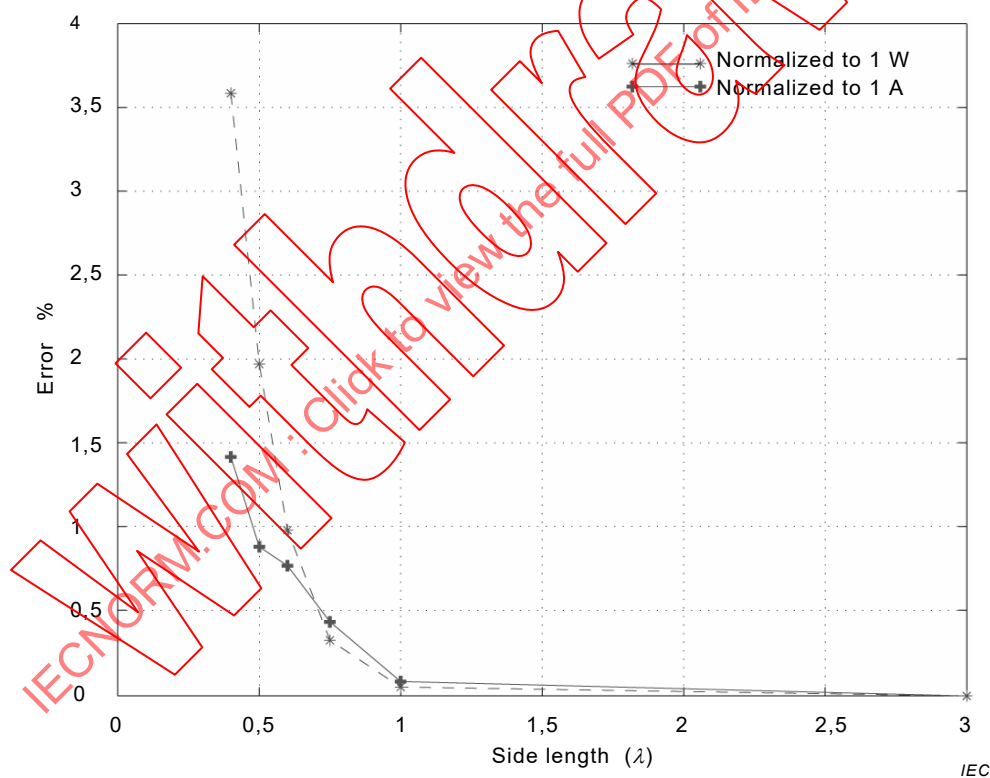


Figure H.2 – FDTD predicted uncertainty in the 10 g peak spatial-average SAR as a function of the dimensions of the flat phantom compared with an infinite flat phantom, at 800 MHz

**Table H.1 – Parameters used for calculation
of reference SAR values in Table D.1**

Frequency MHz	Phantom shell thickness mm	Phantom shell permittivity	Phantom dimensions used for FDTD models mm <i>x; y; z</i>	Reference dipole distance <i>s</i> from the liquid mm
300	6,3	3,7	1 000; 800; 170	15
300	2,0	3,7	1 000; 800; 170	15
450	6,3	3,7	700; 600; 170	15
450	2,0	3,7	700; 600; 170	15
750	2,0	3,7	700; 600; 170	15
835	2,0	3,7	360; 300; 150	15
900	2,0	3,7	360; 300; 150	15
1 450	2,0	3,7	240; 200; 150	10
1 500	2,0	3,7	220; 160; 150	10
1 640	2,0	3,7	220; 160; 150	10
1 750	2,0	3,7	220; 160; 150	10
1 800	2,0	3,7	220; 160; 150	10
1 900	2,0	3,7	220; 160; 150	10
1 950	2,0	3,7	220; 160; 150	10
2 000	2,0	3,7	160; 140; 150	10
2 100	2,0	3,7	160; 140; 150	10
2 300	2,0	3,7	160; 140; 150	10
2 450	2,0	3,7	180; 120; 150	10
2 600	2,0	3,7	180; 120; 150	10
3 000	2,0	3,7	220; 160; 150	10
3 500	2,0	3,7	174; 110; 150	10
3 700	2,0	3,7	174; 110; 150	10
5 000	2,0	3,7	90; 80; 35	10
5 200	2,0	3,7	90; 80; 35	10
5 500	2,0	3,7	90; 80; 35	10
5 800	2,0	3,7	90; 80; 35	10

NOTE The SAR values in Table D.1 at frequencies above 3 GHz depend on the dipole spacer and detailed construction of the dipoles and may vary by as much as $\pm 10\%$. The reasons are that the dipole dimensions are short with respect to arm diameter and spacer dimensions, i.e. the numerical reference values are not generic and need to be determined for a particular test set-up. Also, the results can be sensitive to the permittivity of the phantom shell [123].

Annex I (informative)

Example recipes for phantom head tissue-equivalent liquids

I.1 Overview

The dielectric properties of the liquid phantom shall be those listed in Table A.3. For frequencies not listed, the dielectric properties shall be calculated from the tabulated values using linear interpolation. Tables I.1, I.2 and I.3 suggest examples of recipes for liquids with parameters as defined in Table A.3.

WARNING

To ensure personnel safety, the users shall follow the instructions provided in the Material Safety Data Sheet (MSDS) for any material, and/or any local regulations.

I.2 Ingredients

The following ingredients are used in the example recipes for producing the head tissue-equivalent liquids:

- Sucrose (sugar) (> 98 % pure).
- Sodium chloride (salt) (> 99 % pure).
- De-ionized water (16 MΩ resistivity minimum).
- Hydroxyethyl cellulose (HEC).
- Bactericide.
- Diethylene glycol butyl ether (DGBE) (> 99 % pure).
- Polyethylene glycol mono [4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenyl ether]. This is available as Triton™ X-100.⁴ The quality of the Triton X-100 shall be ultra pure to match the composition of salt. After making the Triton X-100 based liquids, the dielectric parameters are difficult to adjust in order to keep them close to the targets. Therefore, it is recommended to use alternatives when available.
- Diacetin.
- 1,2-Propanediol.
- Polysorbate 20.
- Diethyleneglycol monohexylether.

NOTE 1 Viscosity of HEC-based tissue-equivalent liquids shall be low enough not to affect E-field probe movement.

NOTE 2 Add salt to water first to make a saline solution, then add the Triton X-100.

NOTE 3 Actual results and mixture percentages may vary from those shown depending on grade and type of components used.

NOTE 4 The tolerances of ϵ_r and of σ in Table I.1, Table I.2 and Table I.3 are liquid temperature tolerances described in 7.2.6.6 based on measurements of the applicable liquid recipes.

⁴ Triton is the trademark of a product supplied by The Dow Chemical Company or an affiliated company of Dow. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

The formulas for the tissue equivalent liquids can be found in Tables I.1 to I.3

[illegible]

Table I.2 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters: 1 450 MHz to 2 000 MHz

Frequency MHz	1 450	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 900	1 900	1 950	2 000
Reference	[78]	[78]	[147]	[147]	[130]	[47]	[78]	[147]	[47]	[78]
Ingredients (% by weight)										
1,2-Propanediol										
Bactericide					0,50					
Diacetin					49,43					
DGBE	45,51	47,00	13,84	44,92			44,92	13,84	45,00	50,00
HEC										
NaCl	0,67	0,36	0,35	0,18	0,64	0,50	0,18	0,35		
Sucrose										
Triton X-100			30,45					30,45		
Polysorbate 20						45,27				
Water	53,82	52,64	55,36	54,90	49,43	54,23	54,90	55,36	55,00	50,00
Measured dielectric parameters										
ε'_r	40,9	39,3	41	40,4	39,2	40,2	39,9	41	40,1	37
σ (S/m)	1,21	1,39	1,38	1,4	1,4	1,41	1,42	1,38	1,41	1,4
T (°C)	22	22	21	22	20	21	21	21	20	22
ε'_r tolerance	0,1 %	0,21 %	0,0 %	0,09 %	0,09 %	0,4 %	0,09 %	0,0 %	0,44 %	0,4 %
σ tolerance	0,9 %	2,6 %	1,0 %	2,0 %	0,7 %	2,3 %	2,0 %	1,0 %	2,9 %	2,6 %

Table I.3 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters: 2 100 MHz to 5 800 MHz

[illegible]

Annex J (informative)

Measurement of the dielectric properties of liquids and uncertainty estimation

J.1 Introductory remarks

Clause J.2 describes the measurement of the dielectric properties of tissue-equivalent liquids required to support the SAR measurement procedures. It provides sufficient details to enable users to select a measurement method on the basis of convenience and performance. The dielectric properties of some reference liquids are provided in Clause J.6 to assess the performance of the measurement procedures. General procedures to evaluate dielectric parameter measurement uncertainties are provided in 7.2.6.

J.2 Measurement techniques

J.2.1 General

The dielectric parameters required are the complex relative permittivity $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\sigma/\omega\epsilon_0$ of the tissue-equivalent liquid at specific test frequencies and temperature. Several well-established techniques can be used for dielectric property measurements of tissue-equivalent liquid.

J.2.2 Instrumentation

The following or equivalent instrumentation is required:

- vector network analyser and S-parameter test set;
- the liquid sample container for using the dielectric coaxial probe, or the slotted line and TEM line that contain the liquid sample to be tested;
- application software to calculate sample dielectric properties from S-parameter measurements.

Three measurement techniques and the corresponding test methodologies are described in Clauses J.3 to J.5. The achievable measurement accuracy for the different methods can vary. The dimensions of the transmission line or coaxial probe are functions of the measurement frequency ranges. The measurement accuracy is validated by measuring the dielectric parameters of reference liquids in Clause J.6.

J.2.3 General principles

The following general principles should be applied for all the procedures.

- The sample holder is thoroughly clean.
- All cell, probes, cables, and connectors are undamaged.
- The procedure for filling the sample holder with the liquid sample fills the volume completely without trapping air bubbles.
- The temperature of the sample is recorded, and it is reported that the dielectric properties are applicable at that temperature only.
- Measurement personnel are acquainted with the nature of the measurement and what to expect at each stage of the procedure.
- After calibration, a measurement is made on a reference liquid to validate the system prior to measuring the sample. Data for several recommended reference materials are given in Clause J.6.

- Data reduction methods for relating complex reflection coefficient and complex permittivity are accurate and appropriate for the sample-holder geometry being used.

J.3 Slotted coaxial transmission line

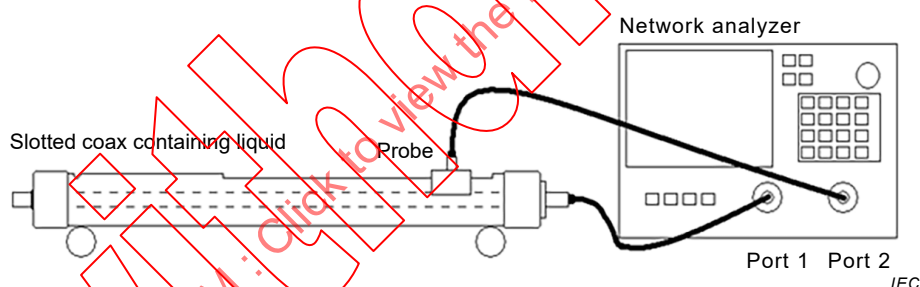
J.3.1 General

A terminated slotted coaxial line with a moveable probe can be used as a sample holder [12]. A network analyser provides the RF signal at the input of the slotted line and enables the magnitude and phase of the signal transmitted into the sample to be determined as a function of position along the line by means of the moveable probe.

The test procedure should specify the network analyser calibration and settings for the required frequency range, the starting measurement position, step size along the slot, and total number of subsequent measurement positions. The application software should interpret the measured data to yield the dielectric properties of the sample. An example procedure is given in J.3.3.

J.3.2 Equipment set-up

The test equipment consists of a slotted coaxial transmission line with a probe connected to a vector network analyser, as shown in Figure J.1. The sensing element of the probe is the extended centre conductor of the coaxial cable/connector. The log-magnitude and phase of S_{21} should be displayed simultaneously. Source power should be set to a level high enough to provide good signal-to-noise ratio. Since the measured quantities are magnitude and phase changes versus distance, the accuracy of the scale is very critical.



Although not shown, equipment for sample temperature monitoring is recommended.

Figure J.1 – Slotted line set-up

The network analyser injects a signal into one end of the slotted coaxial transmission line. The probe inserted through the slot into the tissue-equivalent liquid detects the RF amplitude and phase for each measurement position along the length of the line. A full two-port calibration of the network analyser should be carried out prior to filling the line with liquid, and the following precautions should be observed.

- Fill the slotted line carefully to avoid trapping air bubbles. This operation should be performed while the slotted line is horizontal.
- The probe should be inserted into the slot at the end nearest to the input connector of the slotted line, so that the tissue-equivalent liquid is flush with the inside surface of the line, and aligned with a well-defined position on the distance scale of the slotted line.
- The probe should be inserted perpendicular to the slotted-line longitudinal axis until a stable and adequate amplitude response is achieved. Do not insert the probe too deeply into the coaxial line, because it can overly perturb the field distribution.

J.3.3 Measurement procedure

- Configure and calibrate the network analyser.

- b) Measure log-magnitude and phase data at 10 to 20 positions along the slotted line corresponding to about a 30 dB change in magnitude.
- c) Plot S_{21} log-magnitude and phase versus measurement distance.
- d) Determine if the graphed points closely follow a straight-line approximation, based on the correlation coefficient or a similar statistical measure. The data should produce a good linear regression fit (expected correlation coefficient $r^2 > 0,99$ for lossy materials). If not, re-measure the liquid by increasing the number of measurement points to extend the magnitude change from 30 dB to 40 dB.

For low-loss materials, ensure that the slotted line is long enough to avoid reflections from the load-terminated end.

- e) Calculate the conductivity and relative permittivity of the tissue-equivalent liquid using the following formulas derived from [148].

$$\begin{aligned}\bar{\alpha} &= \frac{m_m \ln(10)}{20} & [\text{Np/cm}] \\ \bar{\beta} &= \frac{m_p \pi}{180} & [\text{rad/cm}] \\ \epsilon'_r &= \frac{(\bar{\beta})^2 - (\bar{\alpha})^2}{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \\ \sigma &= \frac{2\bar{\alpha}\bar{\beta} \left(\frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} \right)}{\omega \epsilon_0} & [\text{S/m}]\end{aligned} \tag{J.1}$$

where

m_m and m_p are the slopes of the least-squares linear fits of the log-magnitude and phase plots, respectively;

$\bar{\alpha}$ and $\bar{\beta}$ are the average attenuation and propagation coefficients along the line.

J.4 Contact coaxial probe

J.4.1 General

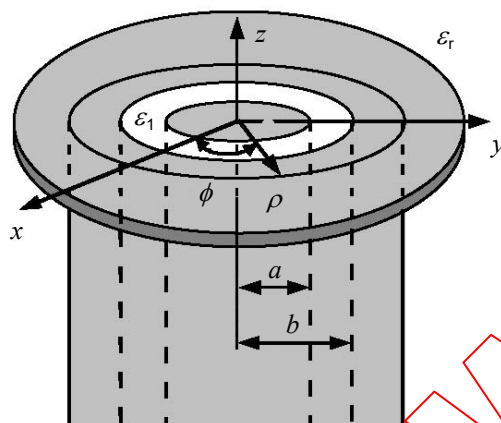
Contact probes are open-ended coaxial transmission line sections, usually with an end flange serving as a ground plane for fringing fields. Measurements are made by placing the probe in contact with the liquid sample and measuring the admittance or reflection coefficient with respect to the open-circuit end, using a network analyser or equivalent instrumentation [8], [48], [134]. Coaxial probes can also be used to test solid dielectrics, for example bulk samples of the materials used to construct the device holder or phantom. To minimize errors with contact probes, solid surfaces should be highly polished [1].

The network analyser should be calibrated and the test procedures should specify the equipment settings for the frequency range to be measured. The application software should use the measured data to compute the dielectric properties of the liquid sample as a function of frequency. Coaxial probes are commercially available, including the application software required for use with specific network analysers. The applicable frequency range is a function of the probe size. An example procedure is given in J.4.3.

J.4.2 Equipment set-up

The equipment consists of a coaxial probe connected to one of the ports on a vector network analyser. The open-ended coaxial line construction is shown in Figure J.2. Cylindrical coordinates (ρ, ϕ, z) are used where ρ is the radial distance from the probe axis, ϕ is the angular displacement around the axis, z is the location along the axis, a is the inner conductor radius, and b is the inner radius of the outer conductor. Coaxial probes typically include a flange to satisfy the infinite ground-plane assumption used in admittance calculations.

A non-metallic container that is sufficiently large compared to the size of the probe immersed in it should be used to hold the liquid sample. A probe with an outer diameter b of 2 mm to 4 mm is suitable for tissue-equivalent liquid measurements in the 300 MHz to 6 GHz range. This probe size requires sample volumes of 50 cm³ or more. Larger sample volumes are required for probes with an outer diameter b up to 7 mm.



Key

- a inner conductor radius
- z displacement along the axis
- b outer conductor inner radius ϵ_r
- ρ radial distance from the axis
- ϕ angular displacement around the axis
- (x, y, z) Cartesian coordinates

Figure J.2 – An open-ended coaxial probe with inner and outer radii a and b , respectively

The coaxial probe is connected to a network analyser and typically calibrated with open and short terminations and also in a known dielectric medium, such as de-ionized water. Commercially available probes are supplied with high precision shorting plugs for probe calibration. The calibration procedures are highly automated by the application software provided with commercially available probes. To ensure measurement accuracy, the probe end should be clean and free of oxidation [3].

Large measurement errors due to "flange resonances" can occur when the diameter of the flange is approximately equal to half a wavelength in the dielectric medium [18]. Such effects are most pronounced for high-permittivity liquids that have a loss tangent less than approximately 0,25 (at mobile phone frequencies these include water, methanol, and dimethyl sulfoxide). Therefore, calibration with a liquid having a high loss tangent, e.g. ethanol, is strongly recommended for larger sensors. There could be problems calibrating 7 mm flanged coaxial sensors with water at some frequencies. Tissue-equivalent liquids have a loss tangent of about 0,5, which is high enough to ensure that resonance effects are practically nonexistent no matter what size of sensor is used.

The network analyser is configured to measure the magnitude and phase of the admittance under application software control. A one-port reflection calibration is performed at the measurement plane of the probe by placing it in a liquid with known reflection coefficient, with the probe in direct contact with the liquid. Three standards are needed for the calibration, typically a short circuit, air (open circuit), and de-ionized water at a well-defined temperature (other reference liquids such as methanol or ethanol may be used for calibration). The calibration is a key part of the measurement procedure, and it is therefore important to ensure that it has been performed correctly. It can be checked by measuring the reference liquids in Clause J.6 and re-measuring the short circuit to ensure that a reflection coefficient of $\Gamma = -1,0$ (linear units) is obtained consistently.

J.4.3 Measurement procedure

- a) Configure and calibrate the network analyser and probe system as required by the application software.
- b) Place the sample in a non-metallic container and immerse the probe into the liquid. A fixture or clamp is recommended to stabilize the probe by mounting it with the probe face oriented at an angle to the liquid surface to minimize air bubbles trapped beneath the flange during insertion into the liquid.
- c) Activate the application software to measure the complex admittance with respect to the probe aperture.
- d) The complex relative permittivity, $\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\sigma/\omega\varepsilon_0$, is automatically computed by the application software; for example according to Formula (J.2) [134]:

$$Y = \frac{j2\omega\varepsilon'_r\varepsilon_0}{[\ln(b/a)]^2} \int_a^b \int_a^b \int_0^\pi \cos\phi' \frac{\exp[-j\omega(\mu_0\varepsilon'_r\varepsilon_0)^{1/2}r]}{r} d\phi' d\rho' d\rho \quad (\text{J.2})$$

where Y is the admittance of the probe in contact with the sample, the primed and unprimed coordinates refer to source and observation points, respectively, $r^2 = \rho^2 + \rho'^2 - 2\rho\rho'\cos\phi'$, ω is the angular frequency, and $j = \sqrt{-1}$.

This formula can be computed numerically, or expanded into a series and simplified [48], [107], [108], [109]. The formula is first solved for the sample wave number k and then the sample complex permittivity, using Newton-Raphson or other iterative approximations. Other numerical approaches may be used, e.g. [110], [119], the applications software can be thoroughly tested and checked via measurements of reference liquids. Commercial open-ended coaxial probe kits typically use similar versions of this theory and method.

J.5 TEM transmission line

J.5.1 General

This method is based on measurement of the complex transmission coefficient of a TEM-mode coaxial transmission line filled with the test liquid [143]. A transmission measurement with a vector network analyser is used to determine the magnitude and phase of the scattering coefficient S_{21} , from which the complex permittivity is calculated. The network analyser should be calibrated and the test procedures should specify the equipment settings for the frequency range to be measured. The application software should use the measured data to compute the dielectric properties of the liquid sample as a function of frequency.

J.5.2 Equipment set-up

The measurement set-up is shown in Figure J.3. The liquid sample is contained in the open-wall stripline consisting of a centre-conductor with a circular cross-section, two planar vertical (side) ground conductors, one optically transparent plastic bottom wall, an open top, and a temperature sensor. The length d of the TEM line is chosen for a given frequency range so that the effect of multiple reflections inside the TEM line is small, and the total attenuation due to the liquid within the line does not exceed the dynamic range of the network analyser. For example, two TEM lines with different lengths can be used to cover the frequency range of 800 MHz to 2 000 MHz. The liquid sample should be carefully syringed or poured into the TEM line through the open top to avoid any air bubbles.

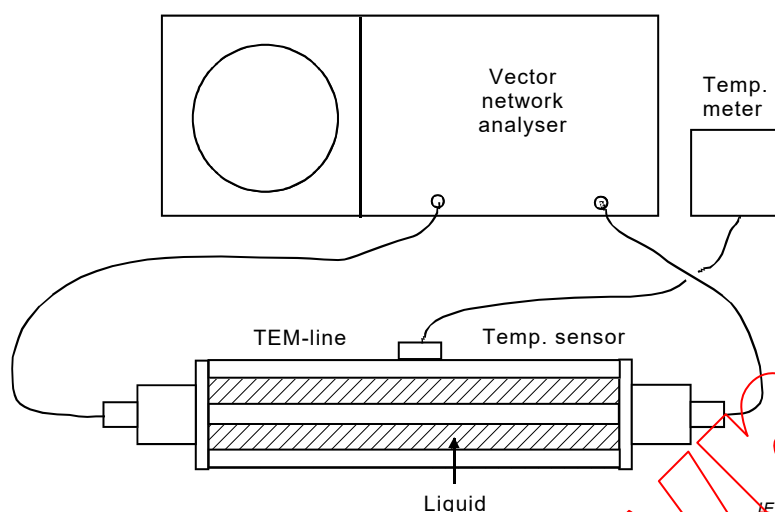


Figure J.3 – TEM line dielectric test set-up [143]

J.5.3 Measurement procedure

- Configure and calibrate the network analyser.
- Record the magnitude and phase of S_{21}^0 of the empty cell at the desired frequencies.
- Inject sample liquid into the cell, and repeat the measurement to obtain the transmission coefficient with the sample S_{21}^S .
- Remove the liquid from the TEM line, thoroughly rinse the inside with water, and dry carefully.
- Reconnect the coaxial line to the network analyser. Make sure that the magnitude and phase of S_{21}^0 are unchanged (deviation less than 0,1 dB in magnitude and 0,5° in phase). This step is needed only if multiple samples are to be measured without recalibration.
- Calculate the complex permittivity of the liquid from the magnitude and phase of S_{21}^S/S_{21}^0 by a numerical solution of the Formulas (J.3):

$$\frac{S_{21}^S}{S_{21}^0} = \frac{(1 - \Gamma^2) \exp[-j(k - k_0)d]}{1 - \Gamma^2 \exp(-j2kd)},$$

$$\Gamma = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}},$$

$$k = \frac{2\pi f}{c_0} \sqrt{\epsilon_r},$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c_0}$$
(J.3)

where

Γ is the reflection coefficient at either end of the TEM line;

k is the wave number in the liquid;

k_0 is the free-space wave number;

d is the length of the sample holder (TEM line);

f is the frequency;

c_0 is the free-space speed of light;

$\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j \sigma / \omega \varepsilon_0$ is the complex relative permittivity of the sample.

J.6 Dielectric properties of reference liquids

The procedures in J.2 require measurements of reference liquids that have well-established dielectric properties in order to validate the dielectric measurement system. It is recommended to use a reference liquid listed in Table J.1 for validating the dielectric measurement system. The difference between the measurement results and the calculated dielectric properties (normalized for frequency and temperature) should be within the expended uncertainty of the dielectric measurement system. Two reference liquids are required, one for calibration, and one for checking the calibration. A general formula for calculating frequency-dependent dielectric properties is given below:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha})^\beta} + \frac{\sigma_i}{j\omega\varepsilon_0} \quad (\text{J.4})$$

where

ε_s is the static or low frequency permittivity;

ε_∞ is the asymptotic high-frequency permittivity;

τ is the relaxation time;

σ_i is the ionic conductivity.

Formula (J.4) corresponds to the Debye formula for $\alpha = 0$ and $\beta = 1$, to the Cole-Cole formula for $\beta = 1$ and $0 < \alpha < 1$, and to the Cole-Davidson relationship for $\alpha = 0$ and $0 < \beta < 1$ [60].

The parameters for calculating the properties of several reference liquids using this formula are given in Table J.1. These liquids are dimethyl sulfoxide, methanol, ethanediol, de-ionized water. The parameters α and σ_i are zero for all liquids listed in Table J.1. The model parameters were obtained using various test methods described in the literature [60]. In general, results obtained with two-port closed-transmission-line cells [51] are generally expected to be the most accurate, but results from all sources listed in the table agree relatively well. Table J.2 contains target 20 °C relative permittivity and conductivity values. If other reference liquids are used, target values and literature references should be provided in the test report.

It is a good practice to choose reference liquids with dielectric properties similar to tissue-equivalent liquids. Any reference liquid mixture recipes should be followed exactly, and dielectric properties should be measured at the specified temperatures. In order to avoid contamination and evaporation, mixtures should not be left exposed to air. Reference liquids should be high-purity grade, e.g. analytical grade or better. After opening, reagent bottles should be stored in accordance with the manufacturer's recommendation for the duration of the recommended shelf life.

All personnel should be familiar with and apply any special handling procedures according to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for each particular liquid.

Table J.1 – Parameters for calculating the dielectric properties of various reference liquids

Reference liquid	Temperature °C	Ref.	Model	ϵ_s	ϵ_∞	τ [ps]	β
DI water ^a	20	[75]	Debye	80,21	5,60	9,36	1
DI water ^a	25	[75]	Debye	78,36	5,20	8,27	1
DMS ^b	20	[57] ^c	Debye	47,13	6,80	21,07	1
DMS ^b	25	[57] ^c	Debye	46,49	6,50	19,12	1
Ethenediol	20	[57]	Cole-Davidson	41,89	4,75	165,44	0,856
Ethenediol	25	[57]	Cole-Davidson	41,40	3,70	164,00	0,800
Methanol	20	[57] ^c	Debye	33,64	5,68	56,60	1
Methanol	25	[57] ^c	Debye	32,67	5,58	50,80	1

^a DI water is de-ionized water.

^b DMS is dimethyl sulphoxide.

^c Parameters from Gregory and Clarke [57] were derived from measurements to 5 GHz only; the accuracy of these parameters above 5 GHz has not been evaluated.

Table J.2 – Dielectric properties of reference liquids at 20 °C

Freq. MHz	Methanol [57]		Dimethyl sulphoxide ^a [57]		De-ionized water [75]		Ethenediol [57]	
	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)
300	33,41	0,048	47,07	0,027	80,19	0,022	39,01	0,14
450	33,05	0,11	46,99	0,060	80,16	0,049	36,49	0,30
750	31,95	0,29	46,73	0,17	80,07	0,14	30,73	0,66
835	31,57	0,35	46,64	0,20	80,03	0,17	29,16	0,76
900	31,25	0,40	46,56	0,24	80,00	0,20	28,00	0,83
1 450	28,10	0,92	45,68	0,60	79,67	0,51	20,38	1,34
1 500	27,79	0,97	45,58	0,64	79,63	0,55	19,87	1,38
1 640	26,91	1,12	45,30	0,76	79,52	0,65	18,54	1,48
1 750	26,21	1,23	45,06	0,86	79,43	0,74	17,62	1,55
1 800	25,89	1,29	44,94	0,91	79,38	0,78	17,23	1,58
1 900	25,62	1,39	44,71	1,01	79,29	0,87	16,51	1,63
2 000	24,63	1,49	44,46	1,11	79,19	0,96	15,85	1,69
2 100	24,02	1,59	44,21	1,22	79,09	1,06	15,24	1,74
2 300	22,81	1,79	43,68	1,44	78,87	1,27	14,18	1,83
2 450	21,94	1,94	43,26	1,61	78,69	1,44	13,49	1,89
2 600	21,11	2,07	42,82	1,79	78,51	1,61	12,88	1,94
3 000	19,05	2,41	41,59	2,31	77,96	2,13	11,56	2,07
3 500	16,84	2,77	39,95	2,99	77,18	2,87	10,34	2,20
4 000	15,02	3,07	38,24	3,70	76,30	3,70	9,44	2,31
4 500	13,52	3,32	36,51	4,42	75,33	4,62	8,75	2,40

Freq. MHz	Methanol [57]		Dimethyl sulphoxide ^a [57]		De-ionized water [75]		Ethenediol [57]	
	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)	ϵ'_r	σ (S/m)
5 000	12,29	3,52	34,78	5,14	74,27	5,62	8,21	2,48
5 200	11,87	3,59	34,10	5,42	73,83	6,04	8,03	2,51
5 400	11,47	3,66	33,43	5,70	73,37	6,47	7,86	2,54
5600	11,11	3,72	32,77	5,98	72,91	6,91	7,70	2,57
5 800	10,77	3,77	32,12	6,25	72,43	7,36	7,55	2,60
6 000	10,45	3,83	31,48 ^a	6,52 ^a	71,95	7,81	7,42	2,62

^a Parameters from Gregory and Clarke [57] were derived from measurements to 5 GHz only, the accuracy of these parameters above 5 GHz has not been evaluated.

Annex K (informative)

Measurement uncertainty of specific fast SAR methods and fast SAR examples

K.1 General

6.6 explains fast SAR methods in general and describes the class of fast SAR method where each method uses the same hardware as the full SAR measurement system. A second class of fast SAR methods uses hardware and software that do not meet all of the specifications of this International Standard but are similar in principle. Among the existing and known techniques, many of them focus on reducing probe movements, especially by using several probes or a probe array. Probes of various types may be used (e.g. probes measuring only two tangential field components, thermal probes). Some of the systems also use specific probe technologies and electronics allowing measurement of the phase of the electric field in a given plane. Unification of the SAM and the flat phantom which is compatible to IEC 62209-2 has been proposed and this technique can be also classified in this category, provided its validity for compliance test is clarified in the future. Different types of dedicated post-processing algorithms can then be used to reconstruct the volumetric SAR distribution inside the phantom.

The dielectric parameters of the tissue simulating material used for fast SAR methods should comply with the requirements of Annex A. The tissue simulating material may be liquid, gel, or solid. If the tissue simulating material of the fast SAR system is accessible and replaceable by the user, the dielectric parameters should be characterized periodically as described in 6.2.1. If the tissue equivalent material is inaccessible or not replaceable by the user, the system manufacturer should demonstrate and document compliance of the dielectric parameters with the requirements of Annex A, including any effects of spatial variations of the dielectric parameters (see K.2.9) or aging of the material.

The fast SAR methods that are described in Annex K use the SAR measurement procedure described in 6.6. They also use the *system validation* and *system check* described in Clause D.4. The full range of sensor locations should also be considered for the type of fast SAR systems described in Annex K. These ranges should be provided with the *system validation* results. Annex K is informative because the *system validation* requirements have not yet been fully defined for the type of fast SAR system that is described herein.

Because this class of techniques uses specific hardware and software that do not conform to those used for full SAR systems required by this Standard, the information in Clause 7 may not be sufficient to determine the measurement uncertainty. Additional uncertainty components that are specific to the measurement system and method under consideration may be needed. Clause K.2 gives general guidance for determining the measurement uncertainty of this class of fast SAR methods.

In K.3, examples of the use of fast SAR methods are given. Two examples are provided that go step-by-step through the fast SAR procedure A of 6.6.2, while two other examples deal with fast SAR procedure B of 6.6.4. These examples are general and apply to both fast SAR methods described in 6.6 and Annex K.

K.2 Measurement uncertainty evaluation

K.2.1 General

Clause K.2 provides general guidance to determine the relative uncertainty of a fast SAR method employing different hardware than a full SAR measurement system. For a specific fast SAR measurement method, rigorous uncertainty analysis should be applied for all applicable

uncertainty terms, including any terms that are not described in Clause K.2. The same principles apply for this type of fast SAR methods as for the type of fast SAR system described in 6.6.1. The relative uncertainty is required, so uncertainty contributions that represent fixed offsets for a set of test configurations are not considered in the uncertainty budget. This includes fixed offsets due to system calibration, dielectric parameters that do not change significantly during the tests (tissue-equivalent liquid temperature variations between tested configurations fulfil the requirements in 5.1), uncertainties in phantom construction that are fixed for a given system, and other offsets. Uncertainty terms that result in variations in the measured values from their nominal values for a given set of measurements should be considered in the relative uncertainty budget. This includes noise in the electronics, variations due to device positioning and measurement errors, and other items.

Two uncertainty budgets are presented in Clause K.2.

- a) Table K.1 is the uncertainty budget to be used when a fast SAR method is applied for several test conditions within the same frequency band and modulation (e.g. GSM in the 824 MHz to 849 MHz frequency band). Fixed offsets that apply when relative assessments are conducted are not included in the uncertainty. Also, fixed offsets that are specific to frequency and operating mode (e.g. offsets due to calibration uncertainty and modulation) are not included.
- b) Table K.2 is the uncertainty budget for the *system check* for fast SAR system. This uncertainty budget is very similar to the uncertainty budget of Table 13.

All uncertainty contributions should be computed in a rigorous way, using statistical techniques presented in Clause 7, where appropriate. A description of the procedures used in the evaluations of uncertainty contributions, if different from those reported in this International Standard, should be included in the measurement report.

K.2.2 Probe calibration and system calibration drift

The probe calibration uncertainty for fast SAR systems is evaluated in a similar way to the probe calibration uncertainty described in Annex B. If the fast SAR method uses one probe, then the same method described in Annex B should be used, where appropriate. If the fast SAR method uses several probes, then the method of Annex B should be applied over the number of sensors used by the system, where appropriate. The system calibration uncertainty should be documented and appropriate to the calibration method applied.

The probe calibration drift over time is an estimate for the change in calibration values of the system over the calibration interval within a specific calibration laboratory, and is based on the calibration history of the system. It is determined by Type A evaluation (7.1.2). For example, the calibration laboratory may have a specific system that it uses for regular re-calibration. In this case, the calibration drift should be defined as the standard deviation of the re-calibrations, relative to the mean value. It is recommended that the system calibration measurements that are used to determine this uncertainty are made over a period that is longer than the calibration period of the other equipment (e.g. power meters) used during calibration. This ensures that the calibration drift uncertainty includes variations due to the re-calibration of this equipment. Where a calibration history is not available, the manufacturer's estimate for the stability of the system over the calibration interval should be used. If the calibration drift uncertainty is not available, the full calibration uncertainty should be used instead.

K.2.3 Isotropy

Probe isotropy uncertainty described in 7.2.2.2 is applicable to probes that can be positioned in a range of angles with respect to the phantom shell according to the specifications of Table 1 and Table 2. If the probes of the fast SAR measurement system are positioned in a similar way, then the probe isotropy uncertainty procedure described in 7.2.2.2 should be used, where appropriate. If the probe angles with respect to the phantom shell do not comply with the probe angles specified in Table 1 and Table 2, then additional uncertainty evaluation may be needed. If the probe angles are limited to a narrower range, the isotropy uncertainty can

be performed over that range. The isotropy assessment should be applicable to the measurement system used.

It is recommended that the dielectric medium of a fast SAR measurement system be isotropic.

K.2.4 Sensor positioning uncertainty

There is some uncertainty of the exact location of the sensor(s) used by the fast SAR method. If the fast SAR system uses one or more moveable sensors, then the uncertainty is due to uncertainties in the positioning of the sensors. If the fast SAR system uses one or more fixed sensors, the uncertainty is due to mechanical uncertainties in the sensor location during manufacturing. The sensor displacement uncertainty is the root-sum-squared of the x - y -displacement uncertainty and the z -displacement uncertainty as described below.

For the z -displacement uncertainty, the SAR uncertainty is assessed according to an assumed exponential SAR decay using the first-order error approximation:

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = 100 \times \frac{d_{\text{ph}}}{\delta^2} \quad (\text{K.1})$$

In this formula, δ is the smallest penetration depth for the tissue-equivalent material over the frequency range appropriate to the fast SAR method (e.g. 14,0 mm at 3 GHz) and d_{ph} is the maximum deviation of the distance between the sensor and the phantom surface. For a maximum displacement of 0,25 mm, this uncertainty term is 3,6 % at 3 GHz. The uncertainty has a rectangular probability distribution.

For the x - y -displacement uncertainty,

$$SAR_{\text{uncertainty}}[\%] = 100 \times \frac{d_{\text{ss}}}{\delta^2} \quad (\text{K.2})$$

Here, d_{ss} is the maximum x - y -positional uncertainty between the target position of the centre of the sensors and the actual position, with respect to a reference point specified by the system manufacturer.

For a maximum x - y -sensor displacement of 0,25 mm, this uncertainty is 3,6 % at 3 GHz, with a rectangular distribution. The total sensor displacement uncertainty for both z -displacement and x - y -displacement is 5,1 %.

K.2.5 Sensor location sensitivity

In addition to uncertainties in the locations of the sensors, if the fast SAR method uses multiple sensors there is also measurement uncertainty due to the positioning of sensors relative to each other. For example, if the fast SAR method expects a 15 mm spacing of the sensors in the x - y -direction and the actual spacing differs from this (e.g. 14,5 mm), uncertainty in the evaluated SAR will result. The sensor location sensitivity uncertainty should be evaluated numerically by varying the relative positions of the sensors according to the mechanical uncertainties and comparing the evaluated SAR with the SAR calculated when the relative positions of the sensors do not deviate from their ideal values. A Monte Carlo analysis is acceptable, where several simulations are conducted with the sensor locations varied according to an appropriate statistical distribution (e.g. normal). The evaluation should be appropriate to the maximum range of frequencies, SAR distributions and relative sensor positions used by the fast SAR method.

K.2.6 Mutual sensor coupling

A fast SAR system having more than one probe can have mutual coupling between the probes. This coupling causes interference that results in measurement uncertainty. The sensor mutual coupling uncertainty should be evaluated by computing the difference between the single-point SAR measured using one probe in isolation and the SAR measured by the same probe surrounded by the other probes as in the fast SAR system. To ensure that potential coupling between the sensors and the device under test (see K.2.7) is not included, the radiating source should be kept away from the fast SAR system by a minimum of one quarter of a wavelength in air. The source and output power should be chosen to ensure that the SAR is sufficiently above the noise floor for this measurement. Both the fast SAR system and the full SAR system should use the same phantom shape for this uncertainty analysis.

K.2.7 Sensor coupling with the DUT

In addition to the coupling described in K.2.6, there can be coupling between the sensors and the device under test that also causes measurement uncertainty. To assess the uncertainty, several radiating devices should be assessed, as appropriate for the system, using both the fast SAR and full SAR systems. The effects of mutual sensor coupling (K.2.6) are reduced by evaluating the devices at two different distances to the phantom and subtracting the difference between them. Specifically, for each i -th device under test ($i = 1$ to N) the SAR should be measured both at zero distance to the phantom (i.e. directly against the phantom) and at a distance d for both fast SAR and full SAR systems. Then ΔSAR_i is calculated using absolute SAR values, according to Formula (K.3).

$$\Delta SAR_i = [SAR_{full_i}(0) - SAR_{fast_i}(0)] - [SAR_{full_i}(d) - SAR_{fast_i}(d)] \quad (K.3)$$

The uncertainty should be evaluated as the standard deviation of the ΔSAR_i values over all devices evaluated. Both the fast SAR system and the full SAR system should use the same phantom shape for this uncertainty analysis.

K.2.8 Measurement system immunity / secondary reception

As with full SAR measurement systems, fast SAR measurement systems should be designed in such a way as to mitigate any noise or offsets in the measurements due to signal pickup that is not measured at the sensor(s). Incident electric fields on high impedance transmission lines can be picked up by the lines, causing interference (secondary reception) with the signal picked up by the sensor(s). For full SAR systems, this effect is minimized by keeping the high impedance lines along the probe axis. For fast SAR systems using different sensor arrangements, the immunity to these secondary signals should be measured. This should be accomplished by performing a single point measurement of one probe of the fast SAR system using the *system validation* set-up described in Annex D and comparing the measured value against the value using a probe used for a full SAR system. To ensure that potential coupling between the sensors and the device under test (K.2.6 and K.2.7) is not included, the radiating source should be kept away from the fast SAR system by a minimum of one quarter of a wavelength in air.

K.2.9 Deviations in phantom shape

This uncertainty term takes into account measurement variations due to the phantom shape, if the phantom shape deviates from the standardized phantom described in Annex A. This term should be determined from the difference between the SAR in the phantom shape used by the fast SAR method and the SAR in the standardized phantom. It is recommended to perform the measurements in both phantoms using a full SAR system so as not to include the sensor coupling with the DUT (K.2.7) in the uncertainty analysis. Different sources and source positions with respect to the phantom should be applied, as appropriate, to evaluate the influence of the phantom shape on different SAR distributions.

K.2.10 Spatial variation in dielectric parameters

The dielectric parameters of the tissue simulating material can vary spatially. The spatial variation in the dielectric parameters can be assessed on a production sample of the material by making dielectric parameter measurements at multiple regions (at least 10, including different locations in x -, y - and z -directions in the volume surrounding the sensor locations) in a dielectric sample across the frequency range of interest. If the tissue simulating material is inaccessible to the user, this measurement should be performed by the system manufacturer. The methods of Annex J can be used to measure the dielectric parameters, if appropriate. The dielectric measurement methods should be appropriate to the material being tested. The uncertainty term is calculated from the highest percentage difference in each of the permittivity and conductivity from the average value, and a rectangular distribution is assumed.

The measurement uncertainty budget described in Table K.1 is the relative uncertainty of the measured SAR value for one test configuration compared to the measured SAR of the other test configurations that have been measured using the same fast SAR system at the same frequency band and modulation. The principles applied to determine which uncertainty terms are applicable (with weighting coefficients of $c_i > 0$) and which are negligible ($c_i = 0$) are described in 7.1.3.

The relative uncertainty budget for the *system check* performed for a fast SAR method is shown in Table K.2. This uncertainty budget is similar to the repeatability uncertainty budget for *system check* (Table 13). The uncertainty terms that can be neglected have weighting coefficients of $c_i = 0$.

Table K.1 – Measurement uncertainty budget for relative fast SAR tests complying with Annex K requirements, for tests performed within one frequency band and modulation

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	ν_i or ν_{eff}
Measurement system									
System calibration	K.2.2	-	N	1	0	0	-	-	∞
Isotropy	K.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Boundary effect	7.2.2.5	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Linearity	7.2.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞
System detection limits	7.2.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Modulation response	7.2.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Readout electronics	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Response time	7.2.2.7	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Integration time	7.2.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	-	R	√3	1	1	-	-	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Sensor positioning uncertainty	K.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Sensor location sensitivity	K.2.5	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, x-direction	7.4.2.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, y-direction	7.4.2.2	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Post-processing of measurement data	7.4.2.3	-	R	√3	1	1	-	-	N – 1
Mutual sensor coupling	K.2.6	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Sensor coupling with DUT	K.2.7	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Measurement system immunity	K.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _f (1 g)	c _g (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Test sample related									
Test sample positioning	7.2.5	-	N	1	1	1	-	-	∞
Device holder uncertainty	7.2.5.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
	7.2.5.3	-							
Output power variation – SAR drift measurement	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
SAR scaling	7.2.11	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Phantom and tissue parameters									
Phantom shell uncertainty – shape, thickness, and permittivity	7.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
	K.2.9	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	-	N	1	0	0	-	-	∞
Liquid conductivity measurement	7.2.6.3	-	N	1	0	0	-	-	M
Liquid permittivity measurement	7.2.6.4	-	N	1	0	0	-	-	M
Liquid conductivity – temperature uncertainty	7.2.6.6	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Liquid permittivity – temperature uncertainty	7.2.6.6	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Spatial variation in conductivity	K.2.10	-	R	√3	0,78	0,71	-	-	∞
Spatial variation in permittivity	K.2.10	-	R	√3	0,23	0,26	-	-	∞
Combined standard uncertainty			RSS				-	-	v _{eff}
Expanded uncertainty (95 % CONFIDENCE INTERVAL)			k = 2				-	-	

Table K.2 – Measurement uncertainty budget for system check using fast SAR methods complying with Annex K requirements

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v _i or v _{eff}
Measurement system									
System calibration drift	K.2.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
Isotropy	K.2.3	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Boundary effect	7.2.2.5	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Linearity	7.2.2.3	-	R	√3	0	0	-	-	∞
System detection limits	7.2.2.3	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Modulation response	7.2.2.4	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Readout electronics	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Response time	7.2.2.7	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Integration time	7.2.2.8	-	R	√3	0	0	-	-	∞
RF ambient conditions – noise	7.2.9	-	R	√3	0	0	-	-	∞
RF ambient conditions – reflections	7.2.9	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Sensor positioning uncertainty	K.2.4	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Sensor location sensitivity	K.2.5	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Spatial resolution, x-direction	7.4.2.2	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Spatial resolution, y-direction	7.4.2.2	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Post-processing of measurement data	7.4.2.3	-	R	√3	0	0	-	-	N – 1
Mutual sensor coupling	K.2.6	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Measurement system immunity	K.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞

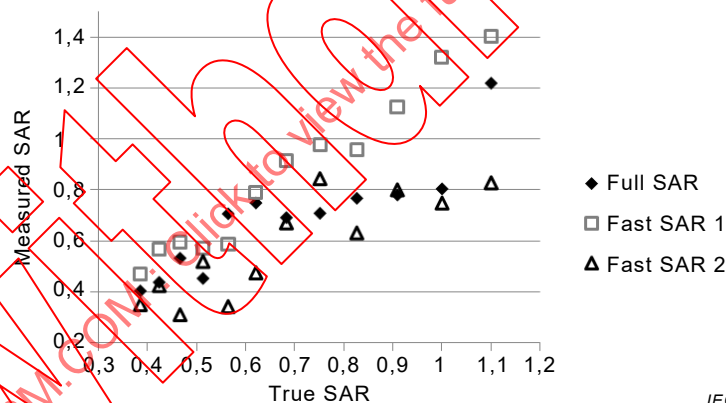
a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c × f / e	i = c × g / e	k
Source of uncertainty	Description	Uncertainty ± %	Probability distribution	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)	Standard uncertainty ± % (1 g)	Standard uncertainty ± % (10 g)	v_i or v_{eff}
System check source									
Deviation between experimental sources	7.2.12	-	N	1	0	0	-	-	7
Input power and SAR drift measurement	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Other source contributions	7.2.13	-	N	1	1	1	-	-	∞
Phantom and tissue parameters									
Phantom shell uncertainty – shape, thickness, and permittivity	7.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Deviations in phantom shape	K.2.9	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Liquid conductivity measurement	7.2.6.3	-	N	1	0,78	0,71	-	-	M
Liquid permittivity measurement	7.2.6.4	-	N	1	0,23	0,26	-	-	M
Liquid conductivity– temperature uncertainty	7.2.6.6	-	R	√3	0,78	0,71	-	-	∞
Liquid permittivity – temperature uncertainty	7.2.6.6	-	R	√3	0,23	0,26	-	-	∞
Spatial variation in conductivity	K.2.10	-	R	√3	0,78	0,71	-	-	∞
Spatial variation in permittivity	K.2.10	-	R	√3	0,23	0,26	-	-	∞
Combined standard uncertainty			RSS						v _{eff}
Expanded uncertainty (95 % CONFIDENCE INTERVAL)			k = 2						

K.3 Fast SAR examples

K.3.1 General

Figure K.1 depicts the measured SAR of twelve hypothetical test conditions measured in the same frequency band and modulation (e.g. GSM900) using a full SAR evaluation and two different hypothetical fast SAR methods. The numbers are generated using normally-distributed random variables with fixed standard deviations of 10 for the full SAR measurements, 5 for "fast SAR 1" and 15 for "fast SAR 2". There are also offsets (e.g. due to calibration bias, boundary effect) of 20 % for fast SAR 1 and –5 % for fast SAR 2. Each set of measurements is plotted on the vertical axis against the true SAR on the horizontal axis. The true SAR is the SAR with no random noise or offset added. Random uncertainty can come from several sources, as explained earlier. Offsets can arise from sources such as calibration bias. This example is for illustrative purposes. A particular fast SAR method may not give the SAR results represented by either data series in Figure K.1.

It is observed that fast SAR 1 does a better job than fast SAR 2 in identifying the test configuration with the highest SAR, even though there is a relatively high offset in the fast SAR 1 measurements. Since the absolute values of fast SAR methods are not relevant, the fast SAR measurement method having the lowest relative uncertainty will generally give the best results in finding the highest SAR test conditions. For this example, the offsets used are assumed to be fixed offsets for a given frequency band and operating mode. In other words, the offsets do not vary from one measurement to another within the same set of fast SAR tests. If the offset varies from one measurement to another, it should be considered to be uncertainty rather than an offset.



NOTE The purpose of this figure is to illustrate a basic concept of fast SAR systems. It does not represent any particular methods.

Figure K.1 – SAR values for twelve hypothetical test configurations measured in the same frequency band and modulation (e.g. GSM 900 MHz) using a hypothetical full SAR (full SAR) and two fast SAR (fast SAR 1 and fast SAR 2) evaluations

It is also observed that the fast SAR methods do not do a perfect job in identifying the test configuration of the DUT having the highest SAR, due to measurement uncertainty. The goal of a fast SAR measurement system is therefore not to replicate the SAR results of the full SAR measurement system, but to find the test configurations of the DUT having the highest true SAR values. The true SAR values are never known in practice, as all measurement systems have uncertainty. Techniques to lower the measurement uncertainty include performing repeat measurements and reproducing the measurements on a different system of the same type.

The test configuration of the DUT having the highest true SAR is the rightmost one in Figure K.1 (the 12th). The fast SAR 1 method identified the 12th, and fast SAR 2 identified the 8th as having the highest SAR. This explains why it is insufficient to measure on the full SAR

system only the highest SAR test configuration identified by the fast SAR method. To have 95 % confidence that the highest SAR test configuration has been measured by the full SAR method, it is necessary to perform the steps in 6.6.2.

Following the steps in the fast SAR measurement procedure A in 6.6.2 for the example of Figure K.1, full SAR measurements should be performed on two test configurations if fast SAR 1 method was used, and six full SAR measurements should be performed if fast SAR 2 method was used, as explained in more detail below. This further illustrates the advantage of having a fast SAR method with a low measurement uncertainty.

K.3.2 Example 1: Tests for one frequency band and mode

K.3.2 provides an example using the data of Figure K.1 for the fast SAR 1 method. The steps of the procedure of 6.6.2 are followed below. This example illustrates the case of a wireless device having only one frequency band and one transmit mode and where the fast SAR method uses the same hardware as the full SAR system. The SAR values reported here are 1 g average values, with the applicable SAR limit of 1,6 W/kg applied. There are twelve test configurations. An example of what would create twelve test conditions is testing at both sides of the head (left and right) in both tilt and cheek positions for a device that has three different battery types.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements on a number of test configurations.

NOTE Table K.3 shows the results of the fast SAR measurements. All measurements were performed at the middle channel (whose frequency is closest to the centre of the transmit band).

Table K.3 – Measurements conducted according to Step a)

Test configuration number	SAR_{fast}	SAR_{full}		
	mid channel	low channel	middle channel	high channel
1	0,570			
2	0,565			
3	0,958			
4	1,403			
5	0,470			
6	0,978			
7	0,789			
8	1,320			
9	0,586			
10	0,593			
11	1,125			
12	0,915			

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted $SAR_{max,fast,i}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.4) to measure each of the N test configurations identified in this step, denoted $SAR_{max,full,i}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{max,full} = \max(SAR_{max,full,i})$.

NOTE In this example there is only $N = 1$ frequency band and modulation and $SAR_{max,fast,1} = 1,403$ W/kg. This value is shown in bold in Table K.4. The same test configuration is then measured using the full SAR method, and a value of $SAR_{max,full,1} = 1,22$ W/kg is found, as shown in Table K.4. Since $N = 1$, $SAR_{max,full} = SAR_{max,full,1} = 1,22$ W/kg.

Table K.4 – Measurements conducted according to Step b)

Test configuration number	SAR_{fast}	SAR_{full}		
	mid channel	low channel	middle channel	high channel
1	0,570			
2	0,565			
3	0,958			
4	1,403		1,22	
5	0,470			
6	0,978			
7	0,789			
8	1,320			
9	0,586			
10	0,593			
11	1,125			
12	0,915			

- c) From the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), choose the i -th one corresponding to $SAR_{max,full}$ in Step b). For this i -th group, use the full SAR method (according to the procedure in 6.4) to measure all other test configurations ($j = 1$ to M , where M is the number of test configurations in the i -th group) if the condition of Formula (10) is met.

NOTE As discussed in K.3.1, it is assumed that the relative standard uncertainty is $U_{fast} = 5\%$ ($k = 1$). Using Formula (11), with $U_{fast_i} = 5\%$, B_{fast_i} is calculated as 1,006 8. From Formula (10) with $N = 1$, $B_{fast_i} - \sqrt{B_{fast_i}^2 - 1} = 0,890$ and from Table K.5, $SAR_{fast_i} = 1,403$ W/kg. So all test configurations where $SAR_{fast_i} \geq 1,403$ W/kg $\times 0,890 = 1,249$ W/kg should be measured with the full SAR method. There are only two test configurations which satisfy this condition, as shown in bold in Table K.5. One of these test conditions has already been measured using the full SAR method (shown in Table K.4). So this step involves only one full SAR measurement, shown in Table K.5 below.

Table K.5 – Measurements conducted according to Step c)

Test configuration number	SAR_{fast}	SAR_{full}		
	mid channel	low channel	middle channel	high channel
1	0,570			
2	0,565			
3	0,958			
4	1,403		1,220	
5	0,470			
6	0,978			
7	0,789			
8	1,320		0,820	
9	0,586			
10	0,593			
11	1,125			
12	0,915			

- d) From the full SAR measurements that were measured in Step c), denoted $SAR_{full,i,j}$, choose the highest value, $SAR_{highest,full} = \max(SAR_{full,i,j})$:

$$SAR_{highest,full} = \max(1,220 \text{ W/kg}, 0,820 \text{ W/kg}) = 1,220 \text{ W/kg}.$$

- e) For each i -th group of frequency bands and modulations ($i = 1$ to N) that has not been evaluated according to Step c), use the threshold of Formula (12) to determine if Step c) is needed.

This step is not needed for the case where $N = 1$.

- f) Use the full SAR method to measure any other test configurations that have not been tested by the fast SAR method in Step a) and are not excluded from testing by this Standard (e.g. by the test reduction procedures in 6.7) or by applicable national regulations. This includes ensuring that the requirements of 6.3, Step 2) be met regarding the testing of all required frequencies across the applicable frequency band using the procedure of 6.6.3.
- g) Identify all test configurations where fast SAR measurements were made at the channel that is closest to the centre of the transmit frequency band and where testing across the applicable frequency band has not been conducted.

NOTE These are all 12 test configurations of Table K.3.

- h) Group all of the test configurations found in Step 1) together, regardless of frequency band or modulation, and sort them in descending order according to the ratio $R_k = SAR_{fastk} / SAR_{limit}$ (where SAR_{limit} is the applicable SAR limit for that test configuration).

NOTE The applicable SAR limit is $SAR_{limit} = 1,6$ W/kg for all test configurations. The sorted list is shown in Table K.6 below.

Table K.6 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 2)

Test configuration number	$SAR_{k,fast}$	k	R_k	SAR_{full}		
	mid channel		mid channel	low channel	middle channel	high channel
4	1,403	1	0,877		1,22	
8	1,320	2	0,825		0,820	
11	1,125	3	0,703			
6	0,978	4	0,611			
3	0,968	5	0,599			
12	0,915	6	0,572			
7	0,789	7	0,493			
10	0,593	8	0,370			
9	0,586	9	0,367			
1	0,570	10	0,356			
2	0,565	11	0,353			
5	0,470	12	0,294			

- i) Perform full SAR measurements (according to the procedure in 6.4.2) on each test configuration identified in Step 2) in the sequence $k = 1, 2, 3$, etc. (unless this measurement has been conducted already) when the k -th configuration to be measured meets the condition of Formula (K.4).

$$SAR_{fastk} \geq R_{min} \times \frac{SAR_{limit}}{2} \times \left(B_{fast} - \sqrt{B_{fast}^2 - 1} \right) \quad (K.4)$$

where

R_{min} is the minimum of all available fast SAR and corresponding full SAR measurement results ratios $R_{min} = \min\{SAR_{k,fast} / SAR_{k,full}\}$, and $B_{fast} = 1 / [1 - (1,64 \max(U_{fasti})^2)]$. In other words, B_{fast} is the smallest of the B_{fasti} values in Formula (11) over all considered frequency bands (i.e. the one with the highest uncertainty U_{fasti}).

From the available data, $R_{\min} = \min(1,403/1,22, 1,320/0,820) = 1,15$. Full SAR measurements should be performed on all k test configurations where $SAR_{\text{fast}k} \geq 1,15 \text{ W/kg} \times (1,6 / 2) \times (0,890 \text{ W/kg}) = 0,819 \text{ W/kg}$. This corresponds to $k = 1$ to 6. The full SAR measurements are already performed for $k = 1$ and $k = 2$. Four additional full SAR measurements are needed, as shown in Table K.7.

Table K.7 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 3)

Test configuration number	$SAR_{k,\text{fast}}$	k	SAR_{full}		
	mid channel		low channel	middle channel	high channel
4	1,403	1		1,220	
8	1,320	2		0,820	
11	1,125	3		0,780	
6	0,978	4		0,767	
3	0,958	5		0,708	
12	0,915	6		0,690	
7	0,789	7			
10	0,593	8			
9	0,586	9			
1	0,570	10			
2	0,565	11			
5	0,470	12			

- j) For all test configurations where SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit in Step 3), measure the SAR at all of the required test frequencies in 6.2.5. Either a fast SAR method or the full SAR method may be used for this purpose.

There are only two test conditions where $SAR_{\text{full}k} > 0,8 \text{ W/kg}$. Therefore, four tests are to be performed in this step (corresponding to $k = 1$ and $k = 2$). In this example it is assumed that the full SAR method is used for these tests. The results are shown in Table K.8.

Table K.8 – Measurements conducted according to 6.4.2, Step 4)

Test configuration number	SAR_{fast}	k	SAR_{full}		
	mid channel		low channel	mid channel	high channel
4	1,403	1	1,140	1,220	1,210
8	1,320	2	0,734	0,820	0,777
11	1,125	3		0,780	
6	0,978	4		0,767	
3	0,958	5		0,708	
12	0,915	6		0,690	
7	0,789	7			
10	0,593	8			
9	0,586	9			
1	0,570	10			
2	0,565	11			
5	0,470	12			

- k) If a fast SAR method was used in Substep 4), apply Step e) of 6.6.2 to check if full SAR measurements are required for those test configurations.

This step does not need to be applied, given that Substep 4) used the full SAR method.

For this example, twelve fast SAR tests and ten full SAR tests were performed. If fast SAR testing had not been applied, sixteen full SAR tests would have been required (twelve test configurations plus low and high channels for two of the test configurations).

K.3.3 Example 2: Tests over multiple frequency bands and modes

This example illustrates the case of a wireless device having three frequency bands. Each frequency band may have multiple modulations, but only the transmission mode having the highest output power will be tested in accordance with 6.6.2. The fast SAR method uses different hardware from the full SAR system and is able to perform a SAR measurement in a very short time (less than 1 % of the full SAR measurement time). The SAR values reported here are 10 g average values, with the applicable SAR limit of 2 W/kg applied. The SAR values are generated using a random number generator, similarly to the SAR values reported in K.3.2. The steps of the procedure of 6.6.2 are followed below. There are eight test configurations per frequency band. An example of what would create eight test configurations is testing at both sides of the head (left and right) in both tilt and cheek positions for a device that has two different battery types.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements on a number of test configurations. The test configurations should be grouped separately per the N different frequency bands and modulations evaluated.

Table K.9 shows the results of the fast SAR measurements. Since the fast SAR measurement system performs measurements faster than the time needed for device positioning, it makes sense to perform the tests across the frequency band at the same time.

Table K.9 – Fast SAR measurements conducted according to Step a)

Test config. number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1	0,961	1,046	1,294	0,472	0,535	0,514	0,438	0,498	0,483
2	0,956	0,752	0,551	1,041	0,774	0,757	0,449	0,480	0,625
3	0,452	0,962	0,654	1,258	1,078	0,630	0,767	0,576	0,499
4	0,821	0,662	0,627	0,446	0,672	0,427	0,275	0,335	0,245
5	0,751	0,704	0,487	0,883	1,252	0,861	0,523	0,559	0,286
6	1,130	1,519	1,519	0,545	0,717	0,391	0,377	0,321	0,323
7	0,447	0,831	0,881	0,839	0,952	0,976	0,231	0,434	0,431
8	1,063	1,183	1,536	0,669	0,575	0,312	0,459	0,433	0,561

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted $SAR_{\max, \text{fast}i}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure each of the N test configurations identified in this step, denoted $SAR_{\max, \text{full}i}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{\max, \text{full}} = \max(SAR_{\max, \text{full}i})$.

There are $N = 3$ frequency bands. The highest SAR configurations for the $N = 3$ frequency bands are $SAR_{\max, \text{fast}1} = 1,536$ W/kg, $SAR_{\max, \text{fast}2} = 1,258$ W/kg and $SAR_{\max, \text{fast}3} = 0,767$ W/kg, as shown in Table K.10. The measured values of $SAR_{\max, \text{full}i}$ for $i = 1, 2$ and 3 are shown in Table K.11. $SAR_{\max, \text{full}} = \max(1,662$ W/kg, $1,530$ W/kg, $0,815$ W/kg) = $1,662$ W/kg.

Table K.10 – Fast SAR measurements showing highest SAR value according to Step b)

Test config. number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1	0,961	1,046	1,294	0,472	0,535	0,514	0,438	0,498	0,483
2	0,956	0,752	0,551	1,041	0,774	0,757	0,449	0,480	0,625
3	0,452	0,962	0,654	1,258	1,078	0,630	0,767	0,576	0,499
4	0,821	0,662	0,627	0,446	0,672	0,427	0,275	0,335	0,245
5	0,751	0,704	0,487	0,883	1,252	0,861	0,523	0,559	0,286
6	1,130	1,519	1,519	0,545	0,717	0,391	0,377	0,321	0,323
7	0,447	0,831	0,881	0,839	0,952	0,976	0,231	0,434	0,431
8	1,063	1,18	1,536	0,669	0,575	0,312	0,459	0,433	0,561

Table K.11 – Full SAR measurements conducted according to Step b)

Test config. number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	High
1									
2									
3				1,530			0,815		
4									
5									
6									
7									
8			1,662						

- c) From the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), choose the i -th one corresponding to $SAR_{\max, \text{full}}$ in Step b). For this i -th group, use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure all other test configurations ($j = 1$ to M , where M is the number of test configurations in the i -th group) if the condition of Formula (11) is met.

$SAR_{\max, \text{full}}$ is from the $i = 1$ group. Using Formula (11), with $U_{\text{fast}} = 10 \%$, B_{fast} is calculated as 1,027 6. From Formula (10), $B_{\text{fast}} - \sqrt{B_{\text{fast}}^2 - 1} = 0,791$. From Table K.10, $SAR_{\max, \text{fast}1} = 1,536 \text{ W/kg}$, so all test configurations where $SAR_{\text{fast}i} \geq 1,536 \text{ W/kg} \times 0,791 = 1,215 \text{ W/kg}$ should be measured with the full SAR method. There are only four test configurations which satisfy this condition, as shown in bold in Table K.12. This step therefore involves three full SAR measurements, shown in bold in Table K.13 below.

Table K.12 – Fast SAR measurements showing values according to requirements in Step c)

Test config, number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1	0,961	1,046	1,294	0,472	0,535	0,514	0,438	0,498	0,483
2	0,956	0,752	0,551	1,041	0,774	0,757	0,449	0,480	0,625
3	0,452	0,962	0,654	1,258	1,078	0,630	0,767	0,576	0,499
4	0,821	0,662	0,627	0,446	0,672	0,427	0,275	0,335	0,245
5	0,751	0,704	0,487	0,883	1,252	0,861	0,523	0,559	0,286
6	1,130	1,519	1,519	0,545	0,717	0,391	0,377	0,321	0,323
7	0,447	0,831	0,881	0,839	0,952	0,976	0,231	0,434	0,431
8	1,063	1,18	1,536	0,669	0,575	0,312	0,459	0,433	0,561

Table K.13 – Full SAR measurements conducted according to Step c)

Test config, number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1			1,611						
2									
3				1,530			0,815		
4									
5									
6		1,535	1,573						
7									
8			1,662						

- d) From the full SAR measurements that have been measured so far, denoted $SAR_{full,i,j}$, choose the highest value, $SAR_{highest,full} = \max(SAR_{full,i,j})$:

$$SAR_{highest,full} = \max(1,611 \text{ W/kg}, 1,535 \text{ W/kg}, 1,573 \text{ W/kg}, 1,662 \text{ W/kg}, 1,530 \text{ W/kg}, 0,815 \text{ W/kg}) = 1,662 \text{ W/kg}.$$

- e) For each i -th group of frequency bands and modulations ($i = 1$ to N) that has not been evaluated according to Step c), use the threshold of Formula (13) to determine if Step c) is needed.

From Formula (13) with $U_{fast} = 10 \%$ and $U_{full} = 15 \%$, $B = 1,0958$ and $B_{fast} - \sqrt{B_{fast}^2 - 1} = 0,648$. For $i = 2$, $SAR_{max,full2} = 1,530 \text{ W/kg}$. This is higher than $SAR_{highest,full} (B_{fast} - \sqrt{B_{fast}^2 - 1}) = 1,662 \text{ W/kg} \times 0,648 = 1,077 \text{ W/kg}$. Therefore, Step c) should be

repeated for $i = 2$. However, for $i = 3$, $SAR_{max,full3} = 0,815 \text{ W/kg}$ which is less than $1,077 \text{ W/kg}$. So Step c) is not needed for $i = 3$.

For $i = 2$, all test configurations where $SAR_{fast2,j} \geq 1,258 \text{ W/kg} \times 0,791 = 0,995 \text{ W/kg}$ should be tested with the full SAR system (shown in bold in Table K.14). Therefore, three additional full SAR tests are needed, with the results shown in Table K.15.

Table K.14 – Fast SAR measurements showing values according to requirements in Step e)

Test config, number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1	0,961	1,046	1,294	0,472	0,535	0,514	0,438	0,498	0,483
2	0,956	0,752	0,551	1,041	0,774	0,757	0,449	0,480	0,625
3	0,452	0,962	0,654	1,258	1,078	0,630	0,767	0,576	0,499
4	0,821	0,662	0,627	0,446	0,672	0,427	0,275	0,335	0,245
5	0,751	0,704	0,487	0,883	1,252	0,861	0,523	0,559	0,286
6	1,130	1,519	1,519	0,545	0,717	0,391	0,377	0,321	0,323
7	0,447	0,831	0,881	0,839	0,952	0,976	0,231	0,434	0,431
8	1,063	1,18	1,536	0,669	0,575	0,312	0,459	0,433	0,561

Table K.15 – Full SAR measurements conducted according to Step e)

Test config, number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1			1,611						
2				1,153					
3				1,530	1,201		0,815		
4									
5					1,342				
6		1,535	1,573						
7									
8			1,662						

- f) Use the full SAR method to measure any other test configurations that have not been tested by the fast SAR method in Step a).

This step is not needed, as testing across the frequency band has already been conducted.

In this example, a value of 1,662 W/kg is the peak spatial-average SAR measured with full SAR method across all frequency bands.

For this example, nine full SAR tests were performed. If fast SAR testing had not been applied, 24 full SAR tests would have been required for the centre frequency alone. With low and high channel testing requirements of 6.2.5, additional full SAR tests would also have been required if fast SAR had not been applied.

K.3.4 Example 3: Tests for one frequency band and mode (Procedure B)

Subclause K.3.4 provides an example using the data of Figure K.1 for the "fast SAR 1" method. The steps of the procedure of 6.6.4 are followed below. This example illustrates the case of a wireless device having only one frequency band and one transmit mode, and where the fast SAR method uses the same hardware as the full SAR system. The SAR values reported here are 1 g average values, with the applicable SAR limit of 1,6 W/kg applied. There are twelve test configurations. An example of what would create twelve test conditions is testing at both sides of the head (left and right) in both tilt and cheek positions for a device that has three different battery types.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements required in 6.4.2 on all available test configurations, unless they are excluded from testing by this Standard or by applicable

national regulations. This includes ensuring that the requirements of 6.3, Step 2) are met regarding testing of all required frequencies across the applicable frequency band using the procedure of 6.6.3. The test configurations should be grouped separately per the N different frequency bands and modulations evaluated.

Table K.16 shows the results of the fast SAR measurements.

Table K.16 – Measurements conducted according to Step a)

Test condition number	SAR_{fast}		
	low channel	middle channel	high channel
1		0,570	
2		0,565	
3	0,901	0,958	0,945
4	1,395	1,403	1,360
5		0,470	
6	0,950	0,978	0,948
7		0,789	
8	1,280	1,320	1,200
9		0,586	
10		0,593	
11	0,980	1,125	1,090
12	0,892	0,915	0,899

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted as $SAR_{max,fasti}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure each of the N test configurations identified in this step, denoted as $SAR_{max,fulli}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{max,full} = \max(SAR_{max,fulli})$.

There is only $N = 1$ frequency band and modulation and $SAR_{max,fast1} = 1,403$ W/kg. This value is shown in bold in Table K.17. The same test configuration is measured using the full SAR method, and a value of $SAR_{max,full1} = 1,22$ W/kg was found, as shown in Table K.17. Since $N = 1$, $SAR_{max,full} = SAR_{max,full1} = 1,22$ W/kg.

Table K.17 – Measurements conducted according to Step b)

Test condition number	SAR_{fast}			SAR_{full}		
	low channel	middle channel	high channel	low channel	middle channel	high channel
1		0,570				
2		0,565				
3	0,901	0,958	0,945			
4	1,395	1,403	1,360		1,22	
5		0,470				
6	0,950	0,978	0,948			
7		0,789				
8	1,280	1,320	1,200			
9		0,586				
10		0,593				
11	0,980	1,125	1,090			
12	0,892	0,915	0,899			

- c) For all of the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure all other test configurations $\{i,j\}$ ($j = 1$ to M , where M is the number of fast SAR test configurations in the i -th group) at the channel giving highest fast SAR result if the condition of Formula (15) is met. B_{fasti} is calculated according to Formula (11). U_{fasti} in Formula (11) is the measurement uncertainty of the fast SAR measurements according to 7.4, corresponding to the standard uncertainty ($k = 1$) from the uncertainty budget of Table 14.

It is assumed that the relative standard uncertainty is $U_{fast} = 5\%$ ($k = 1$). Using Formula (11), with $U_{fasti} = 5\%$, B_{fasti} is calculated as 1,006 8. From Formula (15),

$B_{fast} - \sqrt{B_{fast}^2 - 1} = 0,890$. As discussed in the beginning of this subclause, the SAR limit in this case is 1,6 W/kg, so all test configurations where $SAR_{fasti} \geq 1,60 \text{ W/kg} \times 0,890 = 1,42 \text{ W/kg}$ should be measured with the full SAR method. There are no test configurations, which satisfy this condition, as shown in below. So this step involves no full SAR measurement, shown in Table K.18 below.

Table K.18 – Measurements conducted according to Step c)

Test condition number	SAR_{fast}			SAR_{full}		
	low channel	middle channel	high channel	low channel	middle channel	high channel
1		0,570				
2		0,565				
3	0,901	0,958	0,945			
4	1,395	1,403	1,360		1,22	
5		0,470				
6	0,950	0,978	0,948			
7		0,789				
8	1,280	1,320	1,200			
9		0,586				
10		0,593				
11	0,980	1,125	1,090			
12	0,892	0,915	0,899			

- d) For all the full SAR measurements conducted in Steps b) and c), calculate and record $R_{i,j}$ according to Formula (16). For any $R_{i,j} \geq U_{fasti}$, perform full SAR measurements for the other test condition in that frequency band and modulation $\{i\}$, provided the following is observed: the test channel for each test condition should be the channel having the highest fast SAR result for that test condition (the test channel may differ for each condition). The fast SAR result should be remeasured with full SAR, unless a full SAR measurement has already been performed in a previous step. Note that some test conditions may only have one fast SAR result available, which should be interpreted as the highest result.

In this example $R_{1,4}$ is 0,15 (15 %), which is higher than fast SAR uncertainty 5 %. Therefore, full SAR measurements are required for all other test configurations on the channel having the highest fast SAR result. See Table K.19 for measurement results.

Table K.19 – Measurements conducted according to Step e)

Test condition number	SAR_{fast}			SAR_{full}			R
	low channel	middle channel	high channel	low channel	middle channel	high channel	
1		0,570			0,553		0,03
2		0,565			0,548		0,03
3	0,901	0,958	0,945		0,708		0,35
4	1,395	1,403	1,360		1,22		0,15
5		0,470			0,450		0,04
6	0,950	0,978	0,948		0,767		0,28
7		0,789			0,763		0,03
8	1,280	1,320	1,200		0,820		0,61
9		0,586			0,569		0,03
10		0,593			0,578		0,03
11	0,980	1,125	1,090		0,780		0,44
12	0,892	0,915	0,899		0,690		0,32

- e) For any $R_{i,j} \geq U_{fasti}$, for any of the measurements conducted in Steps b) to d) where SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, perform full SAR measurements for the remaining required test channels in 6.2.5 for the frequency band/modulation and test position combination $\{i,j\}$. In addition, for all remaining test configurations where $R_{i,j} < U_{fasti}$ and SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, measure the SAR at all of the required test channels using either a fast SAR or full SAR method. If fast SAR method is used, Steps c) and d) shall be repeated for the new fast SAR value(s) to ensure all necessary full SAR measurements are conducted.

New R values are calculated for full SAR measurements conducted in Step d). In two cases middle channel $SAR_{full} > 0,8$ W/kg and $R_{i,j} > 0,05$. Therefore, new full SAR measurements are needed for the additional channels. See Table K.20.

Table K.20 – Measurements conducted according to Step f)

Test condition number	SAR_{fast}			SAR_{full}			R
	low channel	middle channel	high channel	low channel	middle channel	high channel	
1		0,570			0,553		0,03
2		0,565			0,548		0,03
3	0,901	0,958	0,945		0,708		0,35
4	1,395	1,403	1,360	1,14	1,22	1,21	0,15
5		0,470			0,450		0,04
6	0,950	0,978	0,948		0,767		0,28
7		0,789			0,763		0,03
8	1,280	1,320	1,200	0,734	0,820	0,777	0,61
9		0,586			0,569		0,03
10		0,593			0,578		0,03
11	0,980	1,125	1,090		0,789		0,44
12	0,892	0,915	0,899		0,890		0,32

- f) From the full SAR measurements that have been measured in Steps b), c), d) and e) denoted as $SAR_{full,i,j}$, choose the highest value, $SAR_{highest,full} = \max(SAR_{full,i,j})$, which includes all test configurations in the i -th group, for all the N different frequency bands and modulations evaluated.

For this example, 24 fast SAR tests were performed and 16 full SAR tests. If fast SAR testing had not been applied, sixteen full SAR tests would have been required (twelve test configurations plus low and high channels for two of the test configurations).

K.3.5 Example 4: Tests over multiple frequency bands and modes (Procedure B)

This example illustrates the case of a wireless device having three frequency bands. The SAR values reported here are 10 g average values, with the applicable SAR limit of 2 W/kg applied. The SAR values are generated using a random number generator, similarly to the SAR values reported in K.3.3. The steps of the procedure of 6.6.4 are followed below. There are eight test configurations per frequency band. An example of what would create eight test conditions is testing at both sides of the head (left and right) in both tilt and cheek positions for a device that has two different battery types.

- a) Use the fast SAR method to perform measurements required in 6.3 on all available test configurations, unless they are excluded from testing by this Standard or by applicable national regulations. This includes ensuring that the requirements of 6.3, Step 2) are met regarding testing of all required frequencies across the applicable frequency bands using the procedure of 6.6.3. The test configurations should be grouped separately per the N different frequency bands and modulations evaluated.

Table K.21 shows the results of the fast SAR measurements.

Table K.21 – Fast SAR measurements conducted according to Step a)

Test condition number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1	0,961	1,046	1,294	-	0,535	-	-	0,498	-
2	-	0,752	-	-	0,774	-	-	0,480	-
3	-	0,962	-	1,258	1,078	0,630	0,767	0,576	0,499
4	-	0,662	-	-	0,672	-	-	0,335	-
5	-	0,704	-	0,883	1,252	0,861	-	0,559	-
6	1,130	1,519	1,519	-	0,717	-	-	0,321	-
7	-	0,831	-	-	0,952	-	-	0,434	-
8	1,063	1,183	1,536	-	0,575	-	-	0,433	-

- b) For each of the N frequency bands and modulations evaluated in Step a), find the test configuration having the highest SAR value measured by the fast SAR technique, denoted $SAR_{\max, \text{fast}i}$ ($i = 1$ to N). Use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure each of the N test configurations identified in this step, denoted $SAR_{\max, \text{full}i}$. Select the maximum value among the N test configurations, $SAR_{\max, \text{full}} = \max(SAR_{\max, \text{full}i})$.

There are $N = 3$ frequency bands. The highest SAR configurations for the $N = 3$ frequency bands are $SAR_{\max, \text{fast}1} = 1,536$ W/kg, $SAR_{\max, \text{fast}2} = 1,258$ W/kg and $SAR_{\max, \text{fast}3} = 0,767$ W/kg, as shown in Table K.21. The measured values of $SAR_{\max, \text{full}i}$ for $i = 1, 2$ and 3 are shown in Table K.22. $SAR_{\max, \text{full}} = \max(1,662$ W/kg, $1,530$ W/kg, $0,815$ W/kg) = $1,662$ W/kg.

Table K.22 – Full SAR measurements conducted according to Step b)

Test condition number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1									
2									
3				1,530			0,815		
4									
5									
6									
7									
8			1,662						

- c) For all of the N groups of frequency bands and modulations defined in Step a), use the full SAR method (according to the procedure in 6.4.2) to measure all other test configurations $\{i,j\}$ ($j = 1$ to M , where M is the number of fast SAR test configurations in the i -th group) at the channel giving highest fast SAR result if the condition of Formula (15) is met. $B_{\text{fast}i}$ is calculated according to Formula (11). $U_{\text{fast}i}$ in Formula (11) is the measurement uncertainty of the fast SAR measurements according to 7.4, corresponding to the standard uncertainty ($k = 1$) from the uncertainty budget of Table 14.

Using Formula (11), with $U_{\text{fast}} = 10$ %, B_{fast} is calculated as 1,027 6. From Formula (15),

$B_{\text{fast}} - \sqrt{B_{\text{fast}}^2 - 1} = 0,791$. As the SAR limit in this example is $2,0$ W/kg, all test configurations where $SAR_{\text{fast}i} \geq 2,0$ W/kg $\times 0,791 = 1,582$ W/kg should be measured with the full SAR method. There are no test configurations which satisfy this condition. This step therefore does not involve full SAR measurements.

- d) For all the full SAR measurements conducted in Steps b) and c), calculate and record Formula (16).

$R_{i,j}$ for Band 1 is 0,076, for Band 2 is 0,178 and for Band 3 is 0,059.

For any $R_{i,j} \geq U_{fasti}$, perform full SAR measurements for the other test conditions in that frequency band and modulation $\{i\}$, provided the following is observed: the test channel for each test condition should be the channel having the highest fast SAR result for that test condition (the test channel may differ for each condition). The fast SAR result should be remeasured with full SAR, unless a full SAR measurement has already been performed in a previous step. Note that some test conditions may only have one fast SAR result available, which should be interpreted as the highest result.

$R_{i,j}$ is higher than fast SAR uncertainty 10 % in this example for test result in Band 2. For $i = 2$, all test conditions shall be tested with the full SAR system for the channel having the highest fast SAR result. Therefore, seven additional full SAR tests are needed, with the results shown in Table K.23.

Table K.23 – Full SAR measurements conducted according to Step e)

Test condition number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1			-		0,728				
2				-	0,952				
3				1,530			0,815		
4					0,884				
5					1,342				
6		-			0,899				
7					1,053				
8			1,662		0,774				

- e) If $R_{i,j} \geq U_{fasti}$ for any of the measurements conducted in Steps b) to d) where SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, perform full SAR measurements for the remaining required test channels in 6.2.5 for the frequency band/modulation and test position combination $\{i,j\}$. In addition, for all remaining test configurations where $R_{i,j} < U_{fasti}$ and SAR_{full} is within 3 dB of the applicable SAR limit, measure the SAR at all of the required test channels using either a fast SAR or full SAR method. If fast SAR method is used, Steps c) and d) shall be repeated for the new fast SAR value(s) to ensure all necessary full SAR measurements are conducted

The $R_{i,j}$ values need to be calculated for Band 2 test configuration numbers 5 and 7, since these have a middle channel value higher than 1,0 W/kg (50 % of the SAR limit).

$R_{2,3} = 0,178$, $R_{2,5} = 0,067$ and $R_{2,7} = 0,096$, therefore only $R_{2,3}$ is higher than the fast SAR uncertainty of 10 % in this example. For this test configuration full SAR is required for other required test channels. Also for test configuration 5 and 7, other required test channels are required to be measured. For test configuration 5 this is already done with fast SAR in Step a) showing that the middle channel gives the highest SAR value. For configuration 7, SAR measurements are needed for the required edge channels. Either fast or full SAR measurements would be applicable. In this example, full SAR measurements are conducted. See Table K.24 for full SAR measurements conducted in Step e).

Table K.24 – Full SAR measurements conducted according to Step e)

Test condition number	Band 1			Band 2			Band 3		
	low	mid	high	low	mid	high	low	mid	high
1			-		0,728				
2				-	0,952				
3				1,530	1,201	0,973	0,815		
4					0,884				
5					1,342				
6		-	1,573		0,899				
7				0,983	1,053	0,895			
8			1,662		0,774				

- f) From the full SAR measurements that have been measured in Steps b), c), e) and f) denoted $SAR_{full,i,j}$, choose the highest value, $SAR_{highest,full} = \max(SAR_{full,i,j})$, which includes all test configurations in the i -th group, for all the N different frequency bands and modulations evaluated.

The highest SAR value for this example is 1,662. Fourteen full SAR tests were performed. If fast SAR testing had not been applied, 36 full SAR tests would have been required for the centre frequency alone. With low and high channel testing requirements of 6.2.5, additional full SAR tests would also have been required if fast SAR had not been applied.

Annex L (informative)

SAR test reduction supporting information

L.1 General

Annex L provides useful supporting information related to the test reduction procedures introduced in 6.6.

Clause L.2 is related to the test reduction procedure based on characteristics of DUT design, while Clause L.3 deals with the test reduction procedure based on SAR level analysis. Finally, Clause L.4 describes other possible statistical approaches to identify high SAR test conditions. Clause L.4 provides general information rather than detailed procedures. For this reason, the approaches described in Clause L.4 generally require considerable user input to determine which test configurations could be effectively excluded. In conclusion, it is strongly recommended not to use the statistical approaches described in Clause L.4 for compliance testing purposes. In principle, they can however be used for early investigation purposes (e.g. pre-compliance during research and development stages).

L.2 Test reduction based on characteristics of DUT design

L.2.1 General

When IEC 62209-1 was first developed, there were many handsets with extendable antennas. It was considered that the tilt position may induce a higher SAR in the head in comparison to the touch or cheek position since tilting the handset may decrease the separation distance between the antenna and the head. However, the vast majority of the latest handset designs contain internal antennas. When the antenna is located at the bottom of the handset, the tilt position will increase the separation distance between the antenna and the head. In addition, the contributions to the SAR in the head from RF currents that flow on the surface of the handset will be decreased when the phone is in the tilt position, again because of the increased separation.

L.2.2 Statistical analysis overview

L.2.2.1 Aims and hypothesis

After years of testing, experience has shown that for internal antennas the SAR value in the tilt position is generally lower than the SAR value at cheek in the same test configuration. The aim of this exercise was to conduct a probability analysis of the relationship between the SAR measured in the tilt position versus the cheek position for the same test configurations to ascertain if, and under what conditions testing in the tilt position could be eliminated.

The hypothesis for this study was that there is a very low probability that the SAR value in the tilt position could exceed the SAR in the cheek position by more than a factor of two and, therefore, the SAR in the tilt position could not exceed the applicable SAR limit and the device is expected to be compliant with the SAR regulation if the SAR in the cheek position is 3 dB below the applicable SAR limit.

L.2.2.2 DUT under analysis

The analysis was undertaken with 139 handsets from two handset manufacturers, which were predominantly 2009 models. The DUTs included handsets with various antenna locations, device types and multiple operating frequency bands. In most cases, both 1 g and 10 g peak spatial-average SAR values were measured and therefore the total SAR measurements used for the analysis were actually larger than the number of handsets of 139. Table L.1 shows the number of handsets used for the study.

Table L.1 – The number of handsets used for the statistical study

	Manufacturer A	Manufacturer B	Total
Total	112	27	139
Top antenna	30	14	44
Bottom antenna	82	13	95
Slide (open/closed)	29 (58)	4 (8)	33 (66)
Clam-shell	23	4	27
Candy-bar	60	19	79
Slide models have "open" and "closed" positions, and each position may be handled as a different device type.			

L.2.3 Analysis results

L.2.3.1 Overall analysis results

Subclause L.2.3 shows the result of the statistical analysis with 270 test measurements including 1 g and 10 g peak spatial-average SAR values of all test devices regardless of handset types, antenna locations, and manufacturers. Figure L.1 shows the distribution of "Tilt/Cheek" values for the test devices. The mean and standard deviation values are 0,521 95 and 0,190 55, respectively.

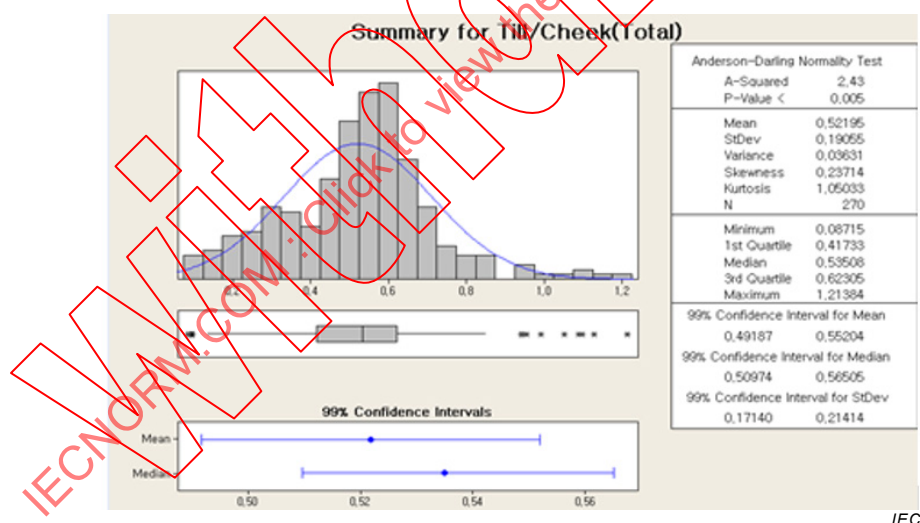
**Figure L.1 – Distribution of "Tilt/Cheek"**

Table L.2 shows the probability that the SAR in the tilt position over the SAR in the cheek position is higher than certain values (x) analysed by using normal distribution and cumulative probability analysis based on mean and standard deviation identified with sample data shown in Figure L.1. While the actual distribution was close to a gamma distribution, the analysis has been undertaken assuming a normal distribution as this would give an upper bound for the probability function and simplify the calculation significantly.

Table L.2 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various x values

x	$P(\text{Tilt/Cheek} > x)$
1,0	$6,057 \times 10^{-3}$
1,1	$1,208 \times 10^{-3}$
1,2	$1,866 \times 10^{-4}$
1,3	$2,221 \times 10^{-5}$
2,0	$4,330 \times 10^{-15}$

The analysis result shows that the probability that the SAR at tilt is higher than twice the SAR at cheek is $4,330 \times 10^{-15}$, which can be considered as zero probability. Even the probability that the SAR at tilt is higher than the SAR at cheek is $6,057 \times 10^{-3}$, which is still very low probability.

L.2.3.2 Comparison between 10 g and 1 g peak spatial-average SAR

Table L.3 is the analysis result to see the differences between 1 g peak spatial-average SAR and 10 g average SAR. It shows even for 1 g average SAR, the probability that the SAR at tilt is higher than twice the SAR at cheek is $6,428 \times 10^{-14}$.

Table L.3 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for 1 g and 10 g peak spatial-average SAR

x	$P(\text{Tilt/Cheek} > x)$	
	10 g peak spatial-average	1 g peak spatial-average
1,0	$4,307 \times 10^{-3}$	$7,603 \times 10^{-3}$
1,1	$7,122 \times 10^{-4}$	$1,720 \times 10^{-3}$
1,2	$8,759 \times 10^{-5}$	$3,091 \times 10^{-4}$
1,3	$7,978 \times 10^{-6}$	$4,400 \times 10^{-5}$
2,0	$1,110 \times 10^{-16}$	$6,428 \times 10^{-14}$

L.2.3.3 Comparison between handsets with bottom antenna and top antenna

Table L.4 is the analysis result to see the differences between handsets with bottom antennas and with top antennas. It shows that the probability that the SAR at tilt is higher than twice the SAR at cheek is $5,217 \times 10^{-9}$ even for devices with top antennas, which have been considered previously to introduce higher SAR value at tilt than at cheek with extendable antennas.

Table L.4 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various antenna locations

x	$P(\text{Tilt/Cheek} > x)$	
	Bottom antenna	Top antenna
1,0	$1,718 \times 10^{-3}$	$3,725 \times 10^{-2}$
1,1	$2,095 \times 10^{-4}$	$1,472 \times 10^{-2}$
1,2	$1,815 \times 10^{-5}$	$5,062 \times 10^{-3}$
1,3	$1,112 \times 10^{-6}$	$1,511 \times 10^{-3}$
2,0	0,0 ^a	$5,217 \times 10^{-9}$
^a This number is below the numerical precision of the computer.		

L.2.3.4 Comparison among frequency bands

Table L.5 is the analysis result to see the differences among operating frequency bands. It shows the probability that the SAR at tilt is higher than twice the SAR at cheek is $3,492 \times 10^{-7}$ even for higher frequency bands.

Table L.5 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various frequency bands

x	$P(\text{Tilt/Cheek} > x)$			
	850 MHz	900 MHz	1800 MHz	1900 MHz
1,0	$7,638 \times 10^{-3}$	$4,578 \times 10^{-3}$	$6,536 \times 10^{-2}$	$1,920 \times 10^{-2}$
1,1	$1,526 \times 10^{-3}$	$6,350 \times 10^{-4}$	$3,170 \times 10^{-2}$	$7,076 \times 10^{-3}$
1,2	$2,334 \times 10^{-4}$	$6,172 \times 10^{-5}$	$1,385 \times 10^{-2}$	$2,283 \times 10^{-3}$
1,3	$2,721 \times 10^{-5}$	$4,180 \times 10^{-6}$	$5,442 \times 10^{-3}$	$6,435 \times 10^{-4}$
2,0	$3,331 \times 10^{-15}$	$0,000 \times 10^0$	$3,492 \times 10^{-7}$	$1,839 \times 10^{-9}$

L.2.3.5 Comparison among device types

Table L.6 is the analysis result to see the differences among device types. It shows the probability that the SAR at tilt is higher than twice the SAR at cheek is very low regardless of device type.

Table L.6 – Statistical analysis results of $P(\text{Tilt/Cheek} > x)$ for various device types

x	$P(\text{Tilt/Cheek} > x)$			
	Bar	Clam-shell	Slide (open)	Slide (closed)
1,0	$6,853 \times 10^{-3}$	$2,992 \times 10^{-8}$	$5,441 \times 10^{-4}$	$1,771 \times 10^{-3}$
1,1	$1,334 \times 10^{-3}$	$3,769 \times 10^{-10}$	$2,138 \times 10^{-5}$	$1,739 \times 10^{-4}$
1,2	$1,982 \times 10^{-4}$	$2,801 \times 10^{-12}$	$4,385 \times 10^{-7}$	$1,131 \times 10^{-5}$
1,3	$2,240 \times 10^{-5}$	$1,221 \times 10^{-14}$	$4,658 \times 10^{-9}$	$4,844 \times 10^{-7}$
2,0	$1,998 \times 10^{-15}$	$0,000 \times 10^0$	$0,000 \times 10^0$	$0,000 \times 10^0$

L.2.4 Conclusions

As a result of statistical analysis with the latest handset designs and models, the probability that the SAR at tilt is higher than the SAR at cheek is very low, and very close to zero, which means the SAR at tilt is most likely never higher than the applicable SAR limit if the SAR at cheek is 3 dB lower than the SAR limit. This approach will ensure that the mobile phones are within the applicable SAR limits, but does not ensure that the maximum SAR will be measured. Therefore if the main goal is to show compliance with the applicable SAR limit, the requirement for the testing of handsets in the tilt position can be excluded under the conditions reported in 6.7.3.

L.2.5 Expansion to multi transmission antennas

The analysis in this study has used handheld devices with a single transmitting antenna. However the conclusion can also be applied to handheld devices with multiple transmitting antennas. The SAR measurement method applicable to handsets with multiple transmitting antennas is based on the summation of SAR distributions from each transmitting antenna. Therefore, it can be concluded that the SAR at tilt even with multiple transmitting antennas is not higher than twice the SAR at cheek with the same antennas, where the SAR at tilt or cheek is calculated by summing SAR distributions from multiple transmitting antennas.

L.2.6 Test reduction based on analysis of SAR results on other signal modulations

When IEC 62209-1 was initially developed, handsets typically used only one communication system per frequency band. The standardized test procedure required each communication system for a given frequency band to be fully tested. Current generation handsets now have several communication systems in use for a given frequency band, e.g. GSM/GPRS, CDMA, WCDMA (3G) and LTE (4G). Therefore, the amount of testing for each frequency band has increased considerably. It is expected that this trend will continue for future handsets unless test reduction procedures can be applied.

Generally, signal modulation will have little effect on the SAR distribution if all signals are transmitted using the same antenna, antenna feed point and matching circuit (see full list of requirements below). This is also true concerning the currents on the body of the transmitting device since the same antenna excites the same currents regardless of the signal modulation used.

It is usually enough to fully measure one signal modulation mod_x in all positions/configurations and the other signal modulations mod_y , mod_z , etc., in the position/configuration giving highest peak spatial-average SAR result for the signal modulation mod_x , if the following parameters are the same for all the transmitted signal modulations:

- frequency band;
- frequencies of the required test channels;
- antenna radiating element;

- antenna feed point;
- antenna grounding;
- antenna matching circuitry (if any);
- antenna tuner and tuner settings (if any).

If the design of the phone is not sufficiently known, i.e. it is not known if the above conditions are met, test reductions cannot be applied and full SAR testing should be conducted for all signal modulations.

Studies described below [120] provide the rationale for performing the SAR measurement at the same position/configuration for other signal modulations mod_y , mod_z , etc. as the position/configuration yielding the maximum peak spatial-average SAR level for signal modulation mod_x . For example, if the left cheek position yields the highest peak spatial-average SAR value for GSM transmission, the left cheek position will typically generate the highest peak spatial-average SAR value for other modulations such as WCDMA and LTE operating within the same frequency band.

Minor deviations from this rule can be explained by the measurement uncertainties associated with testing. For instance, a shift in the maximum SAR value from the left cheek position to the right cheek position when the SAR distribution is highly symmetrical along the phone's vertical axis will be dependent on the positioning accuracy. Deviations are often seen in cases where the SAR levels for both cheek and tilt positions are very low (less than 0,4 W/kg). This is due to decreasing sensitivity of the measurement system which introduces noise to the measurement results.

To decrease the possibility of not obtaining the maximum peak spatial-average SAR value of a DUT, a peak spatial-average SAR value threshold was included in the test reduction procedure (see 6.7.4) of this Standard. Namely, if the maximum peak spatial-average SAR values were obtained at the cheek positions and the peak spatial-average SAR values for the tilt positions are at least 30 % below the applicable SAR limit for the signal modulation mod_x , measurements for the tilt positions are not required for other signal modulations within the same frequency band.

The analysed data consist of a total of 181 handset and frequency band combinations. The handset models with multiple communication systems within the same frequency band were selected from different manufacturers. The data consisted of a total of 115 handset and frequency band combinations operating below 1 GHz and 66 combinations operating above 1 GHz, altogether representing a total of 181 cases.

The data was divided in two categories since mobile phones operating below 1 GHz have higher electromagnetic fields from RF currents flowing along the chassis of the device, while for mobile phones operating above 1 GHz, the currents are concentrated close to the antenna element and chassis. Based on the current antenna design trends in multimode mobile phones, the devices were assumed to have bottom antennas (as described in 6.7.3) fulfilling all the above mentioned conditions. Frequency bands that had at least two different communication systems were analysed. Each frequency band generally had 2 or 3 different communication systems. Results for the 850 MHz, 900 MHz, 1 700 MHz, 1 800 MHz, 1 900 MHz and 1 950 MHz frequency bands were analysed

The 1 g or 10 g peak spatial-average SAR results for all test positions (left cheek, left tilt, right cheek, and right tilt) were collected. The averaging volume was the same for each phone and frequency band combination.

For each frequency band and communication system, all peak spatial-average SAR values were divided by the maximum peak spatial-average SAR value found for the GSM mode. The GSM mode was chosen as the baseline since it was available in all the analysed test cases. This means that if any relative SAR values for other communication systems (e.g. WCDMA or

LTE) were above 1, the maximum SAR for that communication system was measured in a different test condition than for GSM.

In Figure L.2, the x -axis represents all results with the maximum absolute SAR value of each measurement, and the y -axis represents the SAR value relative to maximum SAR value for the GSM mode. The results are divided by cheek and tilt position below 1 GHz and above 1 GHz. Figure L.2 at the same time shows that the majority of the results are below 1, i.e. the maximum SAR was found in same position, for example for LTE, as it was found for GSM.

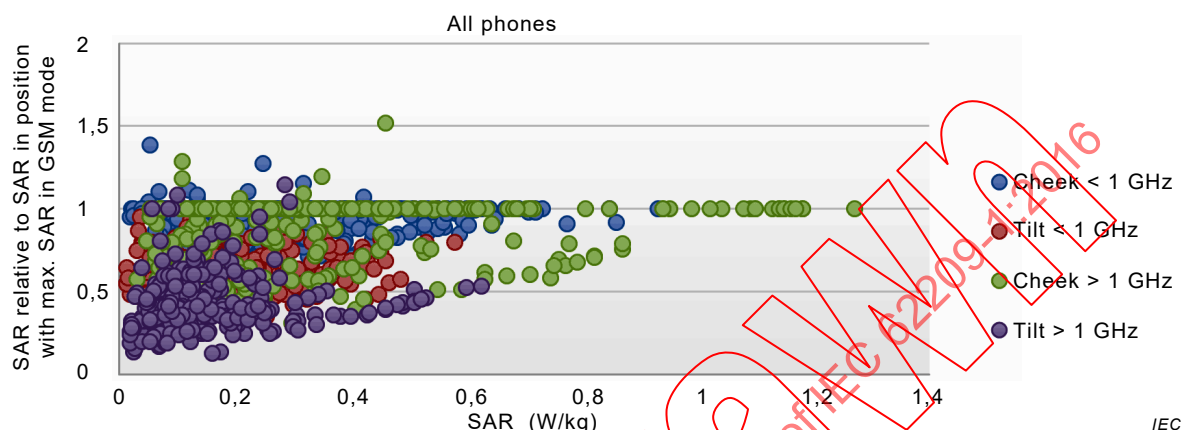


Figure L.2 – SAR relative to SAR in position with maximum SAR in GSM mode

Among the 181 test cases the maximum peak spatial-average SAR was found in a different position than for GSM in one of the other communication systems for only 19 cases. In all 19 cases, the maximum peak spatial-average SAR values were less than 0,4 W/kg for both GSM and the other communication systems. Of these 19 cases, only 3 cases occurred for tilt positions, with a ratio less than 1,2. In the remaining 162 cases where the peak spatial-average SAR values were above 0,4 W/kg, the maximum SAR test condition was correctly identified based on GSM tests

L.3 Test reduction based on SAR level analysis

L.3.1 General

In the SAR measurement procedure described in 6.7.4 only one zoom scan produces the peak spatial-average SAR to be compared with basic restrictions. As a consequence of that, a considerable number of zoom scans could be avoided, saving measurement time, if there is a criterion able to forecast that the peak spatial-average SAR for a test configuration will be lower than the highest value of peak spatial-average SAR among all test configurations. By extending this concept to multi-band and multi configuration devices, the measurement time can be further reduced by defining a SAR measurement session not limited by the single band operational mode but extended to all the operational bands and configurations supported by the device and included in the scope of the present test reduction method. The basic idea is to avoid performing the zoom scan session for each single test (Step d) in 6.7.4) if the maximum measured SAR value of the area scan is below a threshold. The threshold is chosen so that the highest peak spatial-average SAR value will be:

- correctly assessed and not underestimated, especially when it could generate a peak spatial-average SAR close to the basic restriction limit;
- correctly identified, even if not executing the zoom scan session.

In order to define the value of the threshold satisfying the first requirement, the peak spatial-average SAR from the zoom scan measurement has been correlated to the maximum measured SAR value found in the corresponding area scan [140]. It was observed that if the maximum measured SAR value in the area scan is lower than a threshold, then the basic limit

for the peak spatial-average SAR is never exceeded; in particular there was a good correlation between the maximum measured SAR of the area scan and the peak spatial-average SAR over 1 g. In [140] choosing a threshold of 1,3 W/kg (80 % of basic 1 g limit of 1,6 W/kg) gives a high probability that the limit for the peak spatial-average SAR is never exceeded. The same threshold can be used also for the evaluation of the peak spatial-average SAR over 10 g.

The following statistical analysis has been performed to address the question of correct identification of the highest peak spatial average SAR [46].

L.3.2 Statistical analysis

The statistical analysis presented here considers handsets operating in the GSM 900 / DCS 1800 and UMTS I bands. The area scan grid spacing parameters used in this analysis were both (x and y) set to 10 mm, so they fit the requirements reported in this International Standard, and area scans were performed at a fixed specified distance (4 mm spacing between sensors and SAM surface in this case) from the SAM internal surface.

Since the maximum SAR value could not be exactly identified after the area scan, because it could be located (in x and y) inside a square region having 10 mm size, it is recommended to first experimentally evaluate the spatial gradient in order to estimate the magnitude of the peak SAR value that could be missed in applying only the area scan. To do this, 420 SAR distributions in the GSM 900 band, 420 distributions in the DCS 1800 band and 300 distributions in the UMTS I band have been considered. The distributions are relevant to mobile phones marketed between 2007 and 2010. All types of mobiles, including clam-shell and slide phones, have been considered in this study. The first step was to identify the "iso-level" as the set of points having a fixed SAR value and then compute the minimum distance $D_{\min}$ between the iso-level at a fixed SAR level and the position of the interpolated maximum SAR ($SAR_{\max}$, the distance between the two points marked with an X in Figure L.3).

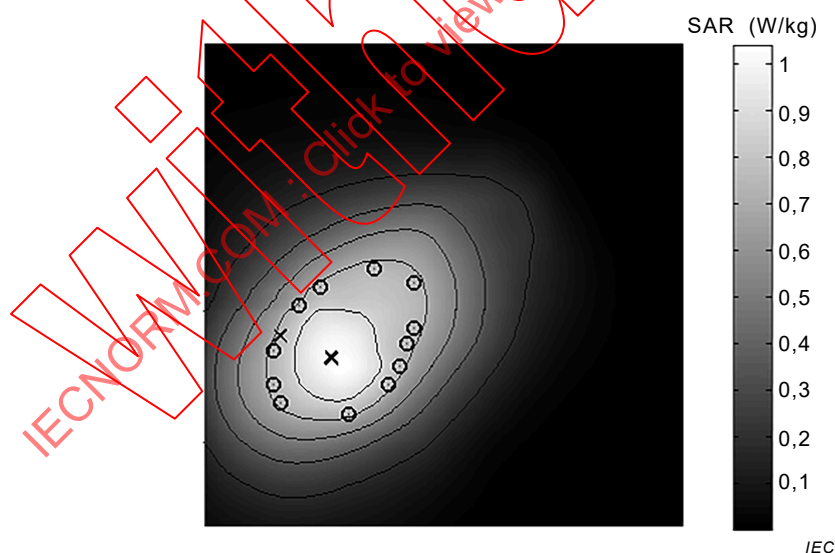


Figure L.3 – Two points identifying the minimum distance between the position of the interpolated maximum SAR and the points at $0,6 \times SAR_{\max}$

Figure L.4 below shows the histogram related to the random variable $D_{\min}$ in the case of GSM 900 band and $0,6 \times SAR_{\max}$ level. In red a normal probability density function (PDF) has been fitted to data using a maximum likelihood estimation procedure.

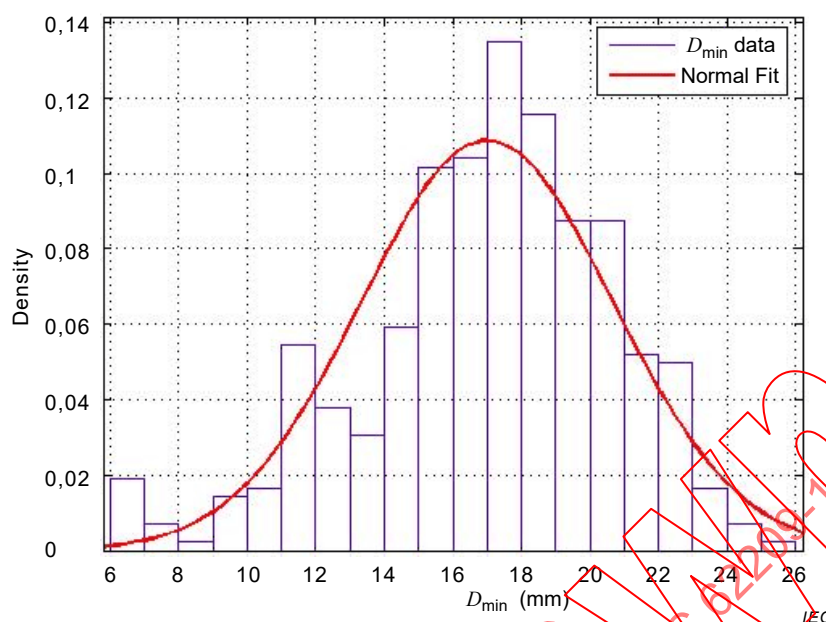


Figure L.4 – Histogram for $D_{\min}$ in the case of GSM 900 and iso-level at $0,6 \times SAR_{\max}$

Even if in some cases data fail the normality hypothesis test (e.g. Jarque-Bera normality test) and data can be more efficiently fitted by using other PDF (e.g. hyperbolic PDF), for the purpose of this analysis only normal fits have been considered in this work. Considering normal PDF, the value $D_{\min}^*$ represents the value for which the probability to have $D_{\min}$ less than $D_{\min}^*$ is 5 %.

Table L.7 summarizes all the analysis performed, for each frequency band considered in this study. In this table the iso-level is expressed as a percentage, so a value of 90 % means the iso-level at $0,9 \times SAR_{\max}$.

Table L.7 – Distance $D_{\min}^*$ for various iso-level values

GSM 900		DCS 1800		UMTS I	
Iso-level %	$D_{\min}^*$ mm	Iso-level %	$D_{\min}^*$ mm	Iso-level %	$D_{\min}^*$ mm
90	4,23	90	3,04	90	1,82
80	6,74	80	4,82	80	4,63
75	7,86	70	6,19	70	6,10
70	8,90	65	6,92	65	6,81
60	10,96	60	7,54	60	7,48
50	13,15	50	9,06	50	8,88

To summarize the results of this analysis considering, for example, the GSM 900 band, we can conclude that it is improbable to find SAR values having the value $0,75 \times SAR_{\max}$ if we consider a distance of 7,86 mm from the $SAR_{\max}$ point. In particular the values shown in bold have $D_{\min}^*$ values higher than 7 mm, which is the value in the middle of the 10 mm chosen grids. In other words, still considering GSM 900 as an example, it is improbable to miss a SAR value inside a 10 mm area scan grid that is higher than 0,75 times the maximum SAR value measured during the area scan.

To conclude the statistical analysis, the correlation between the measured maximum measured SAR value of the area scan and the peak spatial-average SAR values found after

zoom scans has been investigated. To do this, a database of 100 mobile phones operating in the GSM 900 and DCS 1800 bands and 50 handsets operating in the UMTS I band have been considered.

For each mobile phone the maximum measured SAR value of the area scan, the peak spatial-average SAR over 1 g and the peak spatial-average SAR over 10 g, as measured after the complete measurement procedure, were collected. Figure L.5 shows the histogram, as well as the normal PDF fit for the random variable *Factor1g1800*, defined as the ratio between the peak spatial-average SAR for 1 g mass and the maximum measured SAR value of the area scan in case of DCS 1800 band.

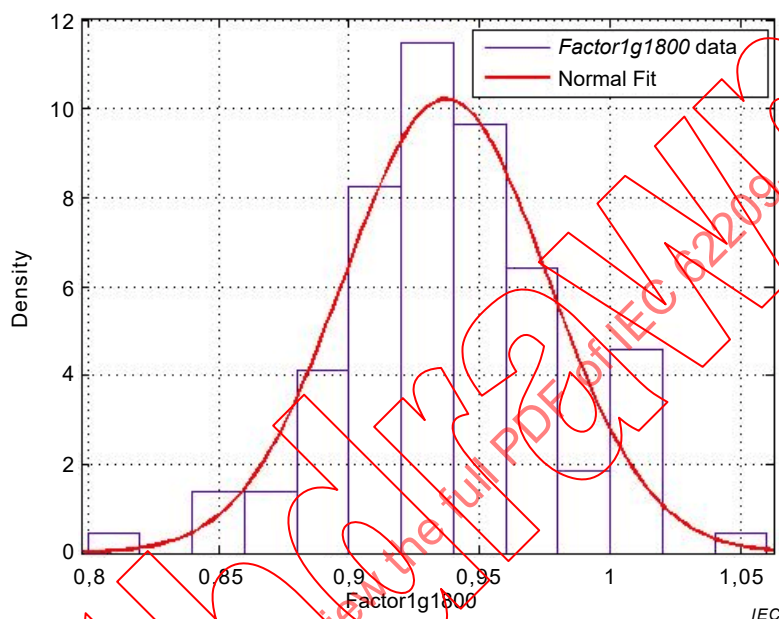


Figure L.5 – Histogram for random variable *Factor1g1800*

In this particular case, it can be shown that the 95 % probability is achieved to find *Factor1g1800* in the interval [0,859, 1,015]. In this particular case it can be concluded that if there are two area scans with two different measured peak SAR values (not the interpolated one) and they differ by a factor of $0,859/1,015 = 0,84$, then it is improbable that the distribution having the higher maximum SAR value measured during the area scan will have the lower peak spatial-average SAR for 1 g mass. In this particular case, 0,84 can be assumed as an experimental threshold: If two different area scans are considered and the measured peak SAR values measured for each one differ by a factor lower than the threshold, then there is a 95 % probability that the area scan with the higher SAR will yield the higher peak spatial-average SAR.

Similar conclusions can be obtained analysing the other bands as well as the peak spatial-average SAR for 10 g mass.

Table L.8 summarizes the overall results.

Table L.8 – Experimental thresholds to have a 95 % probability that the maximum measured SAR value from the area scan will also have a peak spatial-average SAR

GSM 900		DCS 1800		UMTS I	
Threshold 1 g	Threshold 10 g	Threshold 1 g	Threshold 10 g	Threshold 1 g	Threshold 10 g
0,86	0,76	0,84	0,63	0,74	0,62

In conclusion, the same thresholds found in Table L.7 (75 % for GSM 900, 60 % for DCS 1800 and UMTS I) are sufficient also to determine (with a 95 % probability value) the fact that the peak spatial-average SAR will be correctly identified even without performing a zoom scan.

L.3.3 Test reduction applicability example

Find below two examples of application of the procedures introduced in 6.7.4. In the first, the test reduction method is applied to a single operational mode (i.e. GSM 900), while in the second a dual mode (GSM 900/DCS 1800 and UMTS I) handset is considered.

Tables L.9 and L.10 show the reported SAR values which are the maximum measured SAR value from the area scan (GSM 900 band).

Table L.9 – SAR values from the area scan (GSM 900 band)

Frequency	Position	Maximum SAR value W/kg
Middle	Cheek left	1,3
Middle	Tilt left	0,6
Middle	Cheek right	1,5
Middle	Tilt right	0,8
Lower	Cheek right	1,0
Higher	Cheek right	1,3
For bold rows, according to the proposed test reduction procedure, a zoom scan is not required.		

Since this example relates to GSM 900, a threshold of 0,75 should apply. For the first position (cheek left, middle uplink frequency) the zoom scan is needed since the maximum SAR value is 1,3 W/kg (80 % of 1,6 W/kg), while for the tilt left 0,6 W/kg is lower than $0,75 \times 1,3$, so the zoom scan is not needed. Then in the cheek right position the zoom scan is needed and the new absolute peak SAR (APS) becomes 1,5 W/kg. This new APS precludes the need to perform the zoom scan for tilt right (middle frequency) and cheek right (lower frequency), while it is not high enough to exclude the last zoom scan (cheek right, higher frequency).

Below a second example is presented. For this particular example, the GSM 900 band is tested before DCS 1800 and UMTS I, but in general the order in which the bands are tested may be different.

In this second example, the procedure applied in GSM 900 is repeated considering all the other tests and previous APS found. For each band the user should choose an appropriate threshold (see Table 4). For the first measurement in a different band, the user will use, for the comparison with the maximum measured peak SAR value from the area scan, the previous APS found and the threshold related to the new band. As an example, the first area scan measurement of DCS 1800 has a peak maximum SAR value of 0,9 W/kg that is equal to 60 % (the threshold of DCS 1800) of 1,5 W/kg (the previous APS), so in this case zoom scan is needed.

As can be seen in this example, nine measurements (50 %) do not require a zoom scan to be performed (bold rows in the table). The number of zoom scans that can be avoided depends on maximum measured peak SAR values from the area scans.

Table L.10 – SAR values from the area scan (GSM 900 band)

Frequency	Position	Maximum SAR value W/kg
Middle (GSM 900)	Cheek left	1,3
Middle (GSM 900)	Tilt left	0,6
Middle (GSM 900)	Cheek right	1,5
Middle (GSM 900)	Tilt right	0,8
Lower (GSM 900)	Cheek right	1,0
Higher (GSM 900)	Cheek right	1,3
Middle (DCS 1800)	Cheek left	0,9
Middle (DCS 1800)	Tilt left	0,6
Middle (DCS 1800)	Cheek right	0,8
Middle (DCS 1800)	Tilt right	0,7
Lower (DCS 1800)	Cheek right	1,1
Higher (DCS 1800)	Cheek right	0,8
Middle (UMTS I)	Cheek left	1,1
Middle (UMTS I)	Tilt left	0,7
Middle (UMTS I)	Cheek right	1,4
Middle (UMTS I)	Tilt right	0,6
Lower (UMTS I)	Cheek right	1,2
Higher (UMTS I)	Cheek right	1,4

L.4 Other statistical approaches to search for the high SAR test conditions

L.4.1 General

A device may be usable with several antenna options, battery options and other accessories, and the number of possible combinations can be very large. Two traditional methods of experimentation are given below. These methods have drawbacks compared to the design of experiments (DOE) approach described in L.4.2.

L.4.2 Test reductions based on a design of experiments (DOE)

L.4.2.1 General

Analysis of SAR data, e.g. statistical analysis based on a design of experiments (DOE) approach, may be used to develop scientific or engineering rationales for the test reduction of certain SAR tests. For example, if devices are available with optional faceplates with paint coatings of varying metal content, statistical analysis of SAR data may be used to justify excluding the testing of faceplates with less than a certain amount of metal content. The application of the test reduction should be limited to products that are sufficiently similar to the original product for which the test reduction was determined.

L.4.2.2 Search for highest SAR test conditions

A device may operate in different transmission modes and may be usable with several antenna options, battery options and other accessories, and the number of possible combinations can be very large. Methods are therefore needed to streamline the measurement process, so that the highest SAR test conditions can be quickly identified. For example, a device with two antenna configurations (antenna extended and retracted) and four battery types testing all possible combinations would result in a considerable number of tests.

It is unnecessary to test all possible combinations; statistical techniques can be used to show trends from a smaller set of data and determine which device–accessory combinations result in higher SAR values. Using a design of experiments (DOE) is the preferred statistical method of achieving this. A DOE is a structured, organized method for analysing the influence of factors and the interactions between factors on the output of a process. The DOE approach is extensively covered in the literature [115].

L.4.2.3 One factor at a time (OFAT) search

With this method, the experimenter starts with a baseline test condition and successively varies one factor at a time while holding all other factors constant. For example, this could be achieved by first varying antenna configurations, then battery types, then carry accessory types, then audio accessory types. At the end of each step, the factor giving the highest SAR is selected for the next steps. The main drawback of this approach is that it does not consider any interactions between the different accessory types (e.g. the interaction of the battery and the antenna on SAR that is not explained by the influences of each factor independently). If interactions exist, the OFAT approach may not find the optimum (i.e. highest SAR) solution.

L.4.3 Analysis of unstructured data

A common source of unstructured data is historical data. This data typically was collected without any specific objective in mind, or it may have been collected for different purposes than the current experimental objective. This data may be useful in spotting trends, but it may be very difficult to have high confidence in the findings.

For this reason, any findings from the analysis of unstructured data should be verified (e.g. using a DOE).

Annex M (informative)

Applying the head SAR test procedures

Annex M illustrates an example of how to apply the SAR test protocol in 6.4. A mobile handset supporting GSM mode in 850/900/1800/1900 MHz bands is used for the illustration. The device has a sliding keypad, which can be used for voice calls with the slide in open and closed positions. The test procedures in 6.4.2 are applied according to the following.

The test procedure as given in 6.3 is used as follows for the example device.

Step 1: SAR measurements are performed at the channel closest to the centre of each transmit frequency band according to procedures in 6.4. The corresponding channels are 190 at 836,6 MHz for GSM 850, 38 at 897,6 MHz for GSM 900, 699 at 1 747,6 MHz for GSM 1800, and 661 at 1 880 MHz for GSM 1900. All device test conditions described in 6.2.4.2 and 6.2.4.3 for cheek and tilt positions on the left and right sides of the SAM phantom are tested with the sliding keypad open and closed. The device supports only GSM voice mode for head use. Therefore other GSM modes are not applicable for this example.

Step 2: SAR measurements are performed for additional frequency channels in each frequency band and mode as required by 6.2.5, for the highest peak spatial-average SAR test configuration in Step 1 among the device test positions. In addition, SAR is also measured at other frequency channels required by 6.2.5 for all configurations tested in Step 1 where the peak spatial-average SAR is greater than or equal to half of the applicable SAR limit.

Step 3: The SAR measurement results are shown in Tables M.1 to M.4. The highest peak spatial-average SAR among all GSM frequency bands is 1 205 W/kg on channel 251 at 848,8 MHz for GSM 850.

Table M.1 – SAR results tables for example test results – GSM 850

Mode and band	Device configuration (slide position)	SAM phantom test position		SAR, averaged over 10 g [W/kg] ^a		
				Ch. 128 ^b 824,2 MHz	Ch. 190 ^b 836,6 MHz	Ch. 251 ^b 848,8 MHz
GSM 850	closed	Left	Cheek	0,776	0,653 ^c	0,552
			Tilt	-	0,492	-
		Right	Cheek	-	0,626	-
			Tilt	-	0,448	-
	open	Left	Cheek	1,011	1,192 ^{d,e}	1,195
			Tilt	-	0,430	-
		Right	Cheek	0,892	1,120 ^e	1,205^f
			Tilt	-	0,418	-

^a The regulatory SAR limit is assumed to be 2,0 W/kg averaged over a 10 g tissue volume.

^b According to 6.2.5, the number of channels to be tested is $N_c = 3$ for all of the modes (see Step 2).

^c This is the highest SAR measured for the mid-band channel with slide closed, the two other channels in this frequency band also require SAR measurement (see Step 2).

^d This is the highest SAR measured for the mid-band channel with slide open, the two other channels in this frequency band also require SAR measurement (see Step 2).

^e The measured SAR is within 3 dB of the applicable SAR limit, the two other channels in this frequency band also require SAR measurement (see Step 2).

^f This is the highest peak spatial-average SAR measured among all GSM frequency bands and test configurations (see Step 3).

Table M.2 – SAR results table for example test results – GSM 900

Mode and band	Device configuration	Device position		SAR, averaged over 10 g [W/kg] ^a		
				Ch. 975 ^b 880,2 MHz	Ch. 38 ^b 897,6 MHz	Ch. 124 ^b 914,8 MHz
GSM 900	closed	Left	Cheek	0,766	0,730 ^c	0,652
			Tilt	-	0,522	-
		Right	Cheek	-	0,631	-
			Tilt	-	0,482	-
	open	Left	Cheek	0,618	0,723 ^d	0,833
			Tilt	-	0,443	-
		Right	Cheek	-	0,620	-
			Tilt	-	0,406	-

See footnotes in Table M.1.

Table M.3 – SAR results table for example test results – GSM 1800

Mode and band	Device configuration	Device position		SAR, averaged over 10 g [W/kg] ^a		
				Ch. 512 ^b 1 710,2 MHz	Ch. 699 ^b 1 747,6 MHz	Ch. 885 ^b 1 784,8 MHz
GSM 1800	closed	Left	Cheek	-	0,254	-
			Tilt	-	0,230	-
		Right	Cheek	0,336	0,343 ^c	0,466
			Tilt	-	0,215	-
	open	Left	Cheek	-	0,154	-
			Tilt	-	0,162	-
		Right	Cheek	-	0,174	-
			Tilt	0,188	0,192 ^d	0,211

See footnotes in Table M.1.

Table M.4 – SAR results table for example test results – GSM 1900

Mode and band	Device configuration	Device position		SAR, averaged over 10 g [W/kg] ^a		
				Ch. 512 ^b 1 850,2 MHz	Ch. 661 ^b 1 880,0 MHz	Ch. 810 ^b 1 909,8 MHz
GSM 1900	closed	Left	Cheek	-	0,240	-
			Tilt	-	0,233	-
		Right	Cheek	0,246	0,353 ^c	0,387
			Tilt	-	0,221	-
	open	Left	Cheek	-	0,158	-
			Tilt	-	0,178	-
		Right	Cheek	-	0,169	-
			Tilt	0,188	0,195 ^d	0,301

See footnotes in Table M.1.

Annex N (informative)

Studies for potential hand effects on head SAR

N.1 Overview

This Standard is developed based on the principle of providing conservative measurement protocols to assess the head SAR of mobile phone users according to presently available science. Conservativeness of the SAM phantom is established by using the 90th percentile head dimensions of adult male population [56], [89] to ensure that the exposure corresponds to well over 90 % of the user population [89], [88], [139]. The dielectric parameters of the homogeneous tissue-equivalent liquid required for SAR measurement have been chosen to provide SAR overestimation when compared to results obtained from numerical simulations using anatomical models [33]. In addition, a lossless spacer with the thickness of a compressed ear is used on the SAM phantom to represent the external ear (pinna) so that the mobile phone is positioned at a very close distance to the head; therefore, SAR is not underestimated.

In IEC 62209-1:2005, it was assumed that excluding the hand in the measurement procedures, i.e. using a lossless mobile phone holder with minimal disturbance of the RF fields, had provided a conservative SAR assessment. Since the publication of IEC 62209-1:2005, there have been some studies reporting an increase in head peak spatial-average SAR when the hand is included in the SAR assessment. The question of hand effects on head SAR was brought to the attention of Maintenance Team 1 (MT 1) of IEC TC 106 in 2008 [137] and IEC TC 106/MT 1 has considered two options to address the concerns of hand effect on head SAR.

- a) Continue with the current test protocol and add a clause or annex to address hand effects on head SAR.
- b) Revise the head SAR measurement protocol to use a modified lossy device holder or hand phantom.

A third option to apply a correction factor to increase the measured head SAR according to influences of the hand was also discussed within MT 1. However, there was not enough data to establish an appropriate correction factor. In addition, the correction factor methodology was not pursued because it would affect the SAR assessment of all mobile phones regardless of phone designs and actual hand influences on the head SAR.

The National Committees were asked to vote on the two options, or abstain. The voting results favored Option a) by a majority of 15 to 8. Some National Committees also requested continuing research be considered for this to avoid delay in the completion of this Standard. Thus, IEC TC 106/MT 1 will continue to review and analyse contributions for hand effects on head SAR. If the outcome of additional studies leads to a decision to modify the current test protocol, future revisions of this International Standard will be amended accordingly. Following the National Committees voting results for Option a), this Annex N was drafted to identify the current knowledge on hand effects on head SAR.

N.2 Background

N.2.1 General

IEC TC 106/MT 1 took action to address questions raised regarding hand effects on head SAR. Two high-priority large scale studies were initiated:

- hand effect measurement interlab (HEMI) study by six participating laboratories;

- computational study by six participating laboratories on SAM conservativeness using different hand phantoms.

Final results and conclusions for these studies [6], [23], [24] were presented in multiple IEC TC 106/MT 1 face to face meetings. The final report of the investigation on peak spatial-average SAR sensitivity to hand and finger positions was presented in January 2013 [17]. Besides these studies, results from several other projects conducted outside of IEC TC 106/MT 1 were also presented at IEC TC 106/MT 1 meetings [137], [85], [31], [32], [94], [28], [118], [81], [125], [73], [74] or published elsewhere [111], [112], [113], [114], [43], [44], [95], [96], [92].

Both experimental and computational studies indicate that SAR variations are dependent on hand grips, handset position, form factor of the handset, antenna design and placement, as well as handset operating frequency bands.

N.2.2 Hand phantoms

Four homogeneous hand phantoms have been developed for the CTIA Certification Program Test Plan [19] to evaluate over-the-air (OTA) performances of handsets using pre-defined grips. The physical dimensions of these four hand phantoms were derived from the average of 50th percentile hand data for men and women in anthropometric research publications ([54], [142], [10], [11]). The hand grip configurations used for the phantoms were established based on studies of device size, usage, and form factor. The average wet and dry palm dielectric properties reported in [51] were used for the CTIA hand phantoms. The average anatomical characteristics were considered and they were used in several experimental studies, e.g. the HEMI study as well as [94], [30], and other computational studies.

N.3 Summary of experimental studies

N.3.1 General

The principal aspects of potential hand effects on head SAR are described in N.3.2 and N.3.3.

N.3.2 Experimental studies using fully compliant SAR measurement systems

The HEMI study was conducted to investigate hand effects on head SAR. Thirty-three handsets with a diverse range of physical characteristics, marketed between June 2006 and June 2010, operating in GSM 900 MHz and WCDMA 1 950 MHz bands were tested using a single hand phantom and grip configuration involving 42 total test configurations. Only 6 out of the 42 configurations show an increase in measured head SAR, ranging from 5 % to 40 % with most of the increases less than 15 %. None of the increases result in measured SAR above regulatory limits. All increases were in WCDMA 1 950 MHz band. The remaining WCDMA and GSM configurations showed decreases up to 78 %. The observed SAR increases were for phones exhibiting comparatively low SAR, for instance the highest increase for 10 g peak spatial-average SAR, including the 40 % increase, was 0,41 W/kg.

N.3.3 Experimental studies using other SAR measurement systems

The data collected in [30] using a fast SAR measurement system not fully compliant with all requirements of this Standard have showed both increase and decrease in SAR when tested with a realistic hand phantom for 46 mobile phones in the 1 800 MHz frequency band, where SAR decreases outnumber SAR increases by a ratio of approximately 2 to 1. The results in [30] and [44] also suggest that SAR increases occur more often at 1 800 MHz and above when compared to lower frequency bands. In [22] and [94], cases are reported where the head SAR increase introduced by hand effects can lead to both an unchanged local SAR distribution or a modified distribution with a shift in peak SAR location. It was also shown that the SAR is comparable for a handset held by a CTIA hand phantom and a human hand replicating the same grip [30].

N.4 Summary of computational studies

Several computational studies have been performed and reviewed by IEC TC 106/MT 1 to investigate hand effects on head SAR [6], [17], [81] using a number of simplified and detailed CAD phone models at 900 MHz, 1 800 MHz, and 2 000 MHz. Several adult and child hand models were used to simulate realistic hand grip conditions for exposures in several realistic head models. The results were in general consistent with experimental data showing a considerable prevalence of cases with peak spatial-average SAR decreases due to presence of the hand and most of the SAR increases were observed at 1 800 MHz and 2 000 MHz.

The computational studies have also provided additional details of certain parameters that can introduce noticeable influences on head peak spatial-average SAR. One study, [126] and [127], showed higher SAR increases at frequencies around 1 800 MHz when the palm of a hand model was positioned 1 cm to 2 cm above the antenna or peak SAR location. In another study [17] involving parametric search for maximum SAR increase in varied hand grip conditions, a significant SAR increase in both the SAM phantom and anatomical head models was observed when fingers were in contact with the head. This was also observed in one of the experimental studies using a fast SAR measurement system which is not fully compliant with all requirements of this Standard [30]. For frequencies below 2 GHz the maximum increase in head SAR is similar for both 1 g and 10 g peak spatial-average SAR [150], [30].

N.5 Conclusions

The conclusions are as follows.

- The data shows that peak spatial-average SAR in the head can increase due to presence of the hand for some configurations.
- Both experimental and computational studies show:
 - Head SAR increase was observed for a small percentage of the configurations at all studied frequencies.
 - Most head SAR increases were found at frequencies between 1 800 MHz and 2 000 MHz. Data for frequencies above 2 GHz are limited.
 - In a considerable majority of the cases where SAR increase was observed, the effect was small.
- No particular hand configuration or grip position could be identified which yields more conservative results for all handsets and/or for all testing conditions.
- For a given handset, methods do not seem to exist for predicting the transmission frequency and realistic use condition that would result in the highest possible SAR enhancement.
- The dependency of SAR increase on phone or antenna design cannot be easily predicted.
- There is insufficient data to scientifically justify the implementation of correction factor proposed by some National Committees.
- IEC TC 106/MT 1 will continue to review and analyse contributions related to hand effects on head SAR.

Annex O (informative)

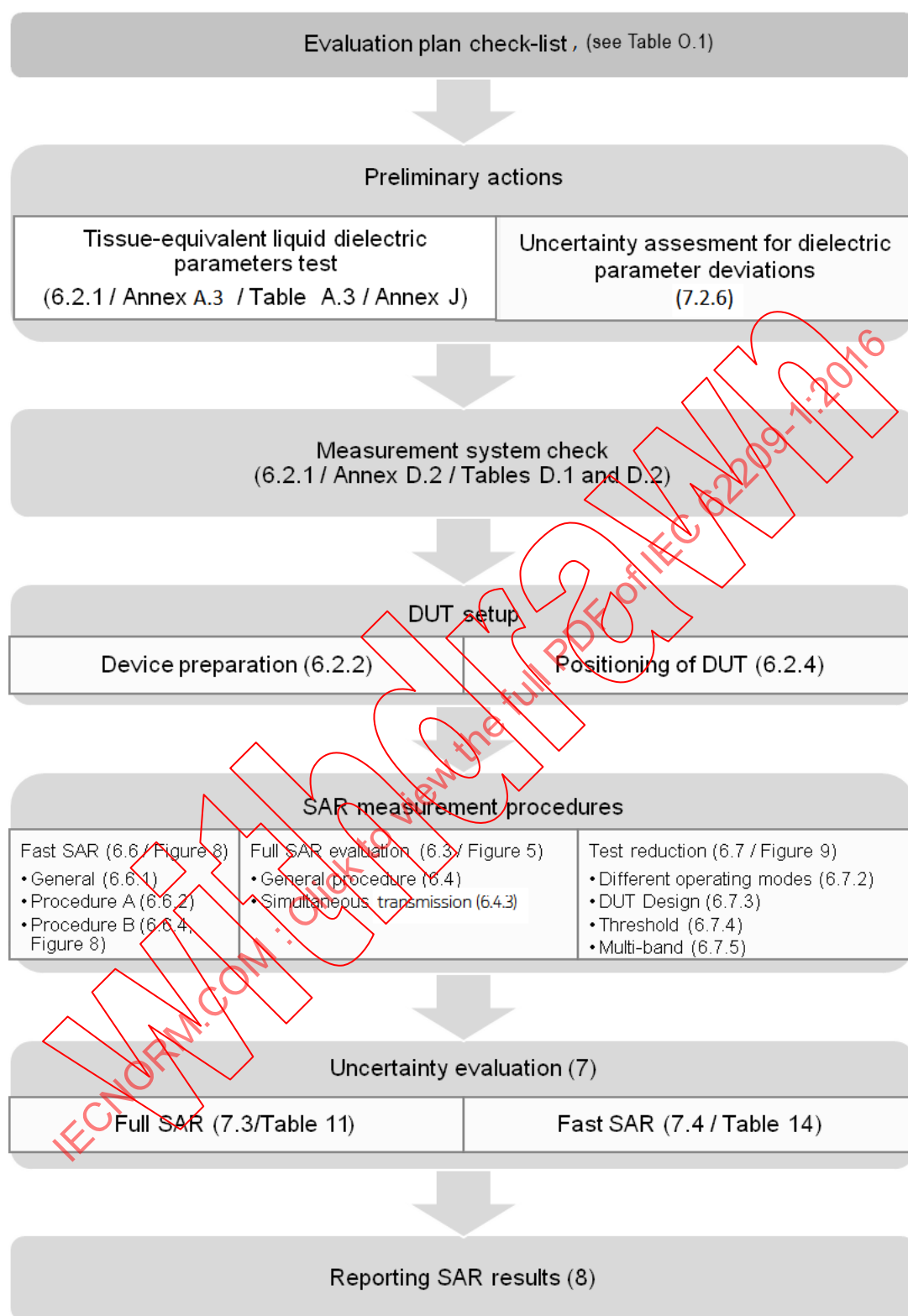
Quick start guide

O.1 General

To appropriately evaluate the device under test different SAR measurement configurations are required, to address various exposure conditions and available technologies according to the requirements of this Standard. This Standard contains all the necessary technical details to perform the required evaluations. However while such details are extensive, care has been taken to layer the presentation of information with its content broadly separated into a process flow, to include detail and additional supporting information. This quick start guide outlines the high level structure of this Standard to guide the user through the necessary steps.

O.2 Quick start guide high level flow-chart

This guide supplements the details contained in this Standard that form the required procedures that shall be followed. All evaluations generally follow a defined sequence. A high level flow-chart of the evaluation process is shown in Figure O.1, which outlines the evaluation process along with the evaluation steps explained in Table O.1. Beginning with an evaluation plan and approach, the process converges to the full SAR evaluation, simultaneous multi-band evaluation and uncertainty stages. Reporting completes the evaluation process. The key elements for reporting are clearly specified in Clause 8.



IEC

Figure O.1 – Quick guide flow-chart

Table O.1 – Quick start guide: SAR evaluation steps

Stage	Evaluation steps	Action
Evaluation plan check-list Planning of the measurement configurations	– What type of device is being evaluated? – Review of antennas contained and wireless technologies supported, singly or in combination. – What are the test positions applicable? – Working under laboratory conditions and following good laboratory practice and documentation, prepare to conduct the necessary evaluations.	Complete check-list base on evaluation plan (6.3)
Preliminary actions and Measurement system check	– A liquid dielectric measurement needs to be performed and the data recorded – System check needs to be performed to verify the correct working of the system components (Annex D.2).	Should be conducted before starting a project and repeated according to 6.2.1
DUT set-up Preparation of DUT	The protocol for SAR assessment defines all the permutations of operational conditions that should be tested. The essential steps include: - Preparing the DUT by establishing a connection to a network simulator or by an internal test protocol capable of creating the necessary RF operating conditions. - Configuring the DUT to operate on the appropriate test frequencies and/or channels applicable. - Positioning the DUT in relation to the phantom; there are several defined positions depending on the DUT exposure condition (6.2.4). - The tests identified shall be performed for all device positions, configurations and operating modes (6.3).	Ensure DUT is configured in the correct way and radiating appropriately when positioned against the phantom.
SAR measurement procedures General SAR procedure	– This stage is the actual procedure of measurement of SAR. – The procedure is iterative to ensure that the highest value of the peak spatial-average SAR of a DUT is captured. – This is done by a systematic process looking at all device positions, configurations and operating modes in all frequency bands accordingly (see Figure 5). – Full SAR evaluation – standard SAR measurement as required using a full SAR system (6.4). – There are some accepted techniques that may be used to either reduce or accelerate the measurement process. - Test reduction – an optional set of procedures based on analysis of SAR data, to reduce the number of evaluations that need to be performed (6.7). - Fast SAR – an optional set of special techniques, methods or algorithms, to decrease measurement time while maintaining an acceptable level of measurement uncertainty (6.6). – Simultaneous multi-band transmission – where a DUT incorporates multiple frequency bands intended to operate simultaneously (f_1, f_2, etc.) the following procedure is applicable: - Most conservative approach: Summation of peak spatial-average SAR values – simplest but most conservative method to find upper bound (see 6.4.3.2.2); - Other approaches are detailed in 6.4.3.2.3, 6.4.3.2.4, 6.4.3.2.5, 6.4.3.3.	Determining highest SAR Ensure the rationale for either test reduction or fast SAR is recorded and reported if either was used.
Uncertainty evaluation	– Guidelines and approximation formulas are provided (see Clause 7), enabling the estimation of each individual uncertainty component. – The uncertainty budget shall cover the appropriate frequency range with regards to equipment used in the SAR system.	Determine uncertainty and complete the uncertainty table (see Table 11 for full SAR and Table 14 for fast SAR tests)

Stage	Evaluation steps	Action
Reporting SAR results	– The final report describes the results of the evaluations, provides sufficient technical details to allow for repeatability of the evaluations performed and reports the results by comparison with the relevant limit (see Clause 8). – The production of the test report will be the demonstration of compliance with this Standard.	Prepare the final report and consider the requirements listed in Clause 8.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Withd 2016

Bibliography

- [1] Arai, M.J., Binner, G.P., and Cross, T.E., Estimating errors due to sample surface roughness in microwave complex permittivity measurements obtained using a coaxial probe. *Electron. Lett.*, Jan. 19, 1995, vol. 32, no. 2, pp. 115-117
- [2] Balzano, Q., Garay, O., and Manning, T., Electromagnetic energy exposure of the users of portable cellular telephones. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, no. 3, pp. 390–403, Aug. 1995
- [3] Bao, J.Z., Swicord, M.L., and Davis, C.C., Microwave dielectric characterization of binary mixtures of water, methanol, and ethanol. *J. Chem. Phys.*, Mar. 12, 1996, vol. 104, no. 12, pp. 4441-4450
- [4] Beard, B.B., et al., Comparisons of Computed Mobile Phone Induced SAR in the SAM Phantom to that in Anatomically Correct Models of the Human Head. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 48, no. 2, May 2006
- [5] Bit-Babik, G., "Computational comparison of SAR in SAM phantom and anatomically correct head models at 300 MHz–5.8 GHz: Summary comparison of the results", report to ICES TC34 SC1, October 2008
- [6] Bit-Babik, G., Summary and Review of the SAM Study Phase III, April 2012
- [7] Bit-Babik G., Faraone, A., Ballen M. and Chou C-K., "Sensitivity of the Spatial-Average Peak SAR to the Dielectric Parameters of Media Used for Compliance Testing in the Frequency Range 0.3 – 3 GHz", *Antennas and Propagation Society International Symposium Digest*, vol. 3, pp. 722-725, June 2002
- [8] Blackham, D.V. and Pollard, R.D., An improved technique for permittivity measurements using a coaxial probe. *IEEE Trans. Instrumen. Meas.*, Oct. 1997, vol. 46, no. 5, pp. 1093-1099
- [9] Bolomey J.C., "Efficient near-field techniques for human exposure evaluation: Applications to mobile and fixed antennas", presented at the Electromagnetic Environment and Human Exposure Evaluation Workshop of EMC, Sorrento, Italy, 2002
- [10] Buchholz, B., Armstrong, T.J. and Goldstein, S.A., "Anthropometric data for describing the kinematics of the human hand", *Ergonomics* vol. 35, no. 3, pp. 261-273, 1992
- [11] Bugbee, W.D. and Botte, M.J., "Surface Anatomy of the Hand: The Relationships Between Palmar Skin Creases and Osseous Anatomy", *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 296, 122-126, 1993
- [12] Chou, C.-K., Chen, G.W., Guy, A.W. and Luk, K.H., Formulas for preparing phantom muscle tissue at various radiofrequencies. *Bioelectromag.*, 1984, vol.5, pp. 435-441
- [13] Christ, A., Chavannes, N., Poković, K, Gerber, H.U. and Kuster, N., Numerical and Experimental Comparison of Human Head Models for SAR Assessment. *Proceedings of Millennium Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields*, Heraklion, Kreta, Greece, Oct. 2000, pp. 234-240
- [14] Christ, A., Klingeböck, A., Samaras, T., Goiceanu, C., and Kuster, N., The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 54, no. 5, pp. 2188-2195, May 2006
- [15] Christ, A., Samaras, T., Klingeböck, A., and Kuster, N., Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30 MHz to 6000 MHz, *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, no. 19, October 2006

- [16] Christ, A., Gosselin, M.-C., Kühn, S., and Kuster, N., Impact of pinna compression on the RF absorption in the heads of adult and juvenile cell phone users, *Bioelectromagnetics*, vol. 31, no. 5, pp. 406–412, July 2010
- [17] Christ, A., "Analysis of the exposure of the hand and its impact on the absorption in the heads of cell phone users", presentation to IEC MT 62209, January 2013
- [18] Clarke, R.N., Gregory, A.P., Hodgetts, T.E., and Symm, G.T., Improvements in coaxial sensor dielectric measurement: relevance to aqueous dielectrics and biological tissue. in *Microwave Aquametry: Electromagnetic Wave Interaction With Water-containing Materials*, A. Kraszewski, ed., New York: IEEE Press, 1996, pp. 279-297
- [19] CTIA, "CTIA test plan for mobile station over the air performance, revision 3.0", CTIA Wireless Association, Apr. 2009
- [20] Davis, C.C. and Balzano, Q., The international intercomparison of SAR measurements on cellular telephones. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 51, pp. 210-216, 2009
- [21] Dieck, R.H., *Measurement Uncertainty: Methods and Applications*. North Carolina, Research Triangle Park: Instrument Society of America, 1992
- [22] Derat, B., "Impact of the hand on the averaged SAR in the head: simulation of a CAD phone model", presentation to IEC PT62209 MT-1, April 22, 2009
- [23] Derat, B., Gabriel, S., Faraone, A., "Hand effect measurement interlab: final report", presentation to IEC MT 62209, August 2011
- [24] Derat, B., Gabriel, S., Faraone, A., "Hand effect measurement interlab: Conclusions of the study", presentation to IEC MT 62209, Dec 2011
- [25] Di Nallo, C. and Faraone, A., Effect of amplitude modulation of the CDMA IS-95 signal on SAR measurements. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 48, no. 3, pp. 552-562, August 2006
- [26] Douglas, M.G., Kanda, M.Y., Luengas W.G., Ballen, M., Babij T.M. and Chou, C-K., An Algorithm for Predicting the Change in SAR in a Human Phantom due to Deviations in its Complex Permittivity. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 51, no 2, May 2009
- [27] Douglas, M.G. and Chou, C-K., "Enabling the Use of Broadband Tissue Equivalent Liquids for Specific Absorption Rate Measurements", *IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium*, July 2007
- [28] Douglas, M., Bucher, C., Ofli, E., Kuster, N., Derat, B. and Gabriel, S., "Investigation of the influence of the Hand on Head SAR", presentation to IEC PT 62209 MT-1, March 22, 2010
- [29] Douglas, M., Derat, B., Liao, X., Ofli, E., and Kuster, N., "Hand Phantom Models for the Assessment of SAR in the Head from Cellular Telephones", *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Beijing, China, April 12-16, 2010
- [30] Douglas, M., Bucher, C., Ofli, E., Derat, B., Gabriel, S., Kuster, N., "Investigation of the influence of the Hand on Head SAR", IEC MT 62209 meeting, Newbury, UK, March 2010
- [31] Douglas, M., Ofli, E., Kuster, N., "Influence of Lossy Holder on SAR in Head", IEC MT 62209 meeting, Xi'an, China, August 2011
- [32] Douglas, M., Kuster, N., "Summary of two studies of hand effect on SAR in head", IEC MT 62209 meeting, Brisbane, Australia, June 17, 2012

- [33] Drossos, A., Santomaa, V., and Kuster, N., The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 48, no. 11, pp. 1988-1995, Nov. 2000
- [34] Le, D.T., Iyama, T., Hamada, L., Watanabe, S. and Onishi, T., Averaging Time Required for Measuring the Specific Absorption Rate of a MIMO Transmitter, *IEEE EMC Magazine*, vol. 3, Quarter 1, pp. 57–64, 2014
- [35] EA-2/07 (rev.01) EAL Strategy to Achieve Comparability of Results in Calibration and Testing, Mar
- [36] EIA RS-261-B:1979, Rectangular Waveguides (WR3 to WR2300) 1997
- [37] Evans, S. and Michelson, S.C., Intercomparison of dielectric reference materials available for the calibration of an open-ended probe at different temperatures. *Meas. Sci. Tech.*, Dec. 1995, vol. 6, no. 12, pp. 1721-1732
- [38] Faraone, A., McCoy, D.O., Chou, C.K. and Balzano, Q., Characterization of miniaturized E-field probes for SAR measurements. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Washington, DC, 2000, pp. 749-754
- [39] Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology Supplement C (Ed. 01-01) to OET Bulletin 65 (Ed. 97-01), Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to Radiofrequency Emissions, Washington, DC, June 2001
- [40] Ferreira, P.J.S.G., Non-iterative and fast iterative methods for interpolation and extrapolation. *IEEE Trans. Sig. Proc.*, Nov 1994, vol. 41, pp. 3278-3282
- [41] Fieguth, P.W., Karl, W.C., Willisky, A.S. and Wunsch, C., Multi-resolution optimal interpolation and statistical analysis of TOPEX/POSEIDON satellite altimetry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 33, pp. 280-292, Mar. 1995
- [42] Ford, C. and Etter, D.M., Wavelet basis reconstruction of non uniform sampled data. *IEEE Trans. Circuits Sys. II: Analog Dig. Sig. Proc.*, vol. 45, no. 8, pp. 1165-1168, Aug. 1998
- [43] Francavilla, M., Schiavoni, A., Bertotto, P. and Richiardi, G., Effect of the hand on cellular phone radiation, *IEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 148, no. 4, pp. 247–253, Aug. 2001
- [44] Francavilla, M. and Schiavoni, A., "Effect of the Hand in SAR Compliance Tests of Body Worn Devices", *Applied Computational Electromagnetic Society Conference*, Verona, Italy, March 21, 2007
- [45] Francavilla, M. and Schiavoni, A., New reference function for post-processing uncertainty evaluation in SAR compliance tests, *IEEE Microwave Compon. Lett.*, vol. 18, no. 5, May 2008
- [46] Francavilla, M., "Time reduction in SAR compliance of GSM/UMTS mobile phones", *BEMS 2011*, Halifax, Canada, June 2011
- [47] Fukunaga, K., Watanabe, S., Wake, K. and Yamanaka, Y., "Time dependence of tissue-equivalent dielectric liquid materials and its effect on SAR", *EMC Europe Symp.*, Sorrento, Italy, Sep. 2002
- [48] Gabriel, C., Chan, T.Y.A. and Grant, E.H., Admittance models for open ended coaxial probes and their place in dielectric spectroscopy. *Phys. Med. Biol.*, vol. 39, no.12, pp. 2183-2200, 1994

- [49] Gabriel, C. and Peyman, A., Dielectric measurement: error analysis and assessment of uncertainty. *Phys. Med. Biol.*, vol. 51, no. 23, pp. 6033-6046, 2006
- [50] Gabriel, S., Lau, R.W. and Gabriel, C., The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, no. 11, pp. 2271-2293, 1996
- [51] Gabriel, S., Lau, R. W. and Gabriel, C., The dielectric properties of biological tissues: II. Measurement in the frequency range 10 Hz to 20 GHz, *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, no. 11, pp. 2251–2269, 1996
- [52] Gandhi, O.P., Lazzi, G. and Furse, C.M., Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 44, no. 10, pp. 1884–1897, Oct. 1996
- [53] Gregory, A.P. and Clarke, R.N., Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz, NPL Report MAT 23, National Physical Laboratory, Teddington, England, 2009
- [54] Greiner, T.M., Hand Anthropometry of U.S. Army Personnel. Technical Report NATICK/TR-92/011, U.S. Army Natick Research Development and Engineering Center, Massachusetts, USA, Dec. 1991
- [55] Gimm Y.M., General method of formulating the human tissue simulant liquid for SAR measurement, 2004 International Symposium on EMC, Sendai, Japan, June 2004, pp. 561-564.)
- [56] Gordon, C.C., Churchill, T., Clauser, C.E., Bradtmiller, B., McConville, J.T., Tebbetts, I. and Walker, R.A. 1988 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics. Technical Report NATICK/TR-89/044, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Massachusetts, USA, Sep. 1989
- [57] Gregory, A.P. and Clarke, R.N., Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz. NPL Report MAT 23, Materials Division, Teddington, England: National Physical Laboratory, Revised Jan 2012, ISSN 1754-2979
- [58] Greiner, T.M., Hand Anthropometry of U.S. Army Personnel. Technical Report NATICK/TR-92/011, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Massachusetts, USA, Dec. 1991
- [59] Hamada, A., Sato, K., Ishii, N., Watanabe, S., Development of the SAR-probe calibration system using the reference dipole antenna in head-simulating liquid, 2008 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, Singapore, pp. 116-119, May 2008
- [60] Hill, N.E., Vaughan, W.E., Price, A.H. and Davies, M., Dielectric Properties and Molecular Behaviour. London: Van Nostrand Reinhold, 1969
- [61] IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at: www.electropedia.org)
- [62] IEC TR 62630, *Guidance for evaluating exposure from multiple electromagnetic sources*
- [63] EIA-261-B, Rectangular Waveguides (WR3 to WR2300) – TR-14.1, IEEE Standard Measurement Procedure for Field-Disturbance Sensors, 1979
- [64] ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp. 494–522, 1998

- [65] IEEE Std C95.1-2005, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*
- [66] IEEE Std 1528, Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques, New York: Institute Electrical and Electronics Engineers, Sep. 2013
- [67] Ishii, N., Sato, K, Hamada, L, Watanabe, S., Gain calibration in near-field region of antenna in tissue-equivalent liquid for SAR assessment, 2008 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, Singapore, pp.112-115, May, 2008
- [68] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
- [69] Jensen, M. A. and Rahmat-Samii, Y., Performance analysis of antennas for hand-held transceivers using FDTD. IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 42, no. 8, pp. 1106–1113, Aug. 1994
- [70] Jensen, M.A. and Rahmat-Samii, Y., EM interaction of handset antenna and a human in personal communications. Proceedings of the IEEE, vol. 83, no.1, pp. 7-17, Jan. 1995
- [71] Jenkins, S., Hodgetts, T.E., Clarke, R.N. and Preece, A.W., Dielectric measurements on reference liquids using automatic network analysers and calculable geometries. Meas. Sci. Tech., vol. 1, no. 7, pp. 691-702, July 1990
- [72] Jokela, K., Hyysalo, P. and Puranen, L., Calibration of specific absorption rate (SAR) probes in waveguide at 900 MHz. IEEE Trans. Instrumen. Meas., vol. 47, no. 2, pp. 432-438, Apr. 1998
- [73] Joyner, K., Jang, J.D., Park, G.B., Park, Y.H., 2nd Modified DUT Holder for SAR measurement. IEC 62209 MT1 Meeting, Ft Lauderdale, 22-24 Jan. 2013
- [74] Joyner K., The Case to Exclude the Hand. IEC 62209 MT1 Meeting, Newbury, 7-9 May 2013
- [75] Kaatze, U., Complex permittivity of water as function of frequency and temperature. J. Chem. Engin. Data, vol. 34, no. 4, pp. 371–374, 1989
- [76] Kaatze, U., Pottel, R., and Schäfer, M., Dielectric spectrum of dimethyl sulfoxide/water mixtures as a function of composition. J. Phys. Chem., vol. 93, pp. 5623-5627, 1989
- [77] Kainz, W., et al., Dosimetric comparison of the specific anthropomorphic mannequin (SAM) to 14 anatomical head models using a novel definition for the mobile phone positioning. Phys. Med. Biol., vol. 50, pp. 3423–3445, July 2005
- [78] Kanda, M.Y., Ballen, M., Chou, C.K., Formulation and characterization of tissue simulating liquids used for SAR measurement (500-2000 MHz). Asia-Pacific Radio Science Conference, Tokyo, Japan, Aug. 1-4, 2001, pp. 274
- [79] Kanda Kanda, M, Analytical and numerical techniques for analyzing an electrically short dipole with a nonlinear load. IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 28, Issue: 1, pp. 71–78, Jan 1980
- [80] Kanda M.Y., Douglas M.G., Mendivil E.D., Ballen M., Gessner A.V. Chou C-K., Faster Determination of Mass-Averaged SAR From 2-D Area Scans. IEEE Trans. Microwave Theory Techn., vol. 52, no. 8, pp. 2013-2020, August 2004
- [81] Kivento M., Keshvari J., Hand effect during the use of real mobile phones, Jan 2013

- [82] Kuster, N. and Balzano, Q., Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, no. 1, pp. 17–23, Feb. 1992
- [83] Kuster, N., Kästle, R. and Schmid, T., Dosimetric evaluation of mobile communications equipment with known precision (invited paper). *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 5, pp. 645-652, May 1997
- [84] Kuster, N., Balzano, Q. and Lin, J.C., Eds. *Mobile Communications Safety*. London: Chapman & Hall, 1997
- [85] Kuster, N., Douglas, M., "Proposal for inclusion of the hand for IEC 62209", IEC MT 62209 meeting, Thessaloniki, Greece, June 2013
- [86] Lancaster, P. and Salkauska, K., *Curve and Surface Fitting: An Introduction*. New York: Academic Press, 1986
- [87] Ladbury, J.M., Camell, D.G., Electrically short dipoles with a nonlinear load, a revisited analysis. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 44, no. 1, pp 38-44, Feb 2002
- [88] Lee, A.K. and Pack, J.K., Effect of head size for cellular telephone exposure on EM absorption. *IEICE Trans. Commun.*, vol. E85-B, no. 3, pp. 698-701, Mar. 2002
- [89] Lee, A.K., Choi, H.D., Lee, H.S. and Pack, J.K., Human head size and SAR characteristics for handset exposure. *ETRI J.*, vol. 24, no. 2, pp. 176-179, Apr. 2002
- [90] Leisten, O., Vardaxaglou, Y., Schmid, T., Rosenberger, B., Agboraw, E., Kuster, N. and Nicolaidis, G., Miniature dielectric-loaded personal telephone antennas with low user exposure. *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 17, pp. 1628-1629, Aug. 1998
- [91] Levin, V.V and Podlovchenko, T.L., Dispersion of the dielectric permittivity of ethylene glycol. *Zhurnal Strukturnoi Khimii*, vol. 11, pp. 766-767, 1970
- [92] Li, C.-H., Ofli, E., Chavannes, N., and Kuster, N., Effects of hand phantom on mobile phone antenna performance. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 9, pp. 2763–2770, Sep. 2009
- [93] Li, C.H., Ofli, E., Chavannes, N. and Kuster, N., "SAR and efficiency performance of mobile phone antenna with different user hand positions", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, Charleston, USA, 2009
- [94] Li, C.-H., Douglas, M., Ofli, E. Derat, B. and Kuster, N., "Investigation of the influence of the Hand on Head SAR", report to IEC PT 62209 MT-1, April 2010
- [95] Li, C.H., Douglas, M., Ofli, E., Chavannes, N., Balzano, Q., Kuster, N., Mechanisms of RF Electromagnetic Field Absorption in Human Hands and Fingers. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 60, no. 7, pp. 2267–2276, July 2012
- [96] Li, C.H., Douglas, M., Ofli, E., Derat, B., Gabriel, S., Chavannes, N., Kuster, N., Influence of the Hand on the Specific Absorption Rate in the Head from a Mobile Phone. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 2, pp. 1066-1074, February 2012
- [97] Li, C.H., Ofli, E., Chavannes, N., Kuster, N., Effects of Hand Phantom on Mobile Phone Antenna Performance. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 9, pp. 2763-2770, Sept. 2012
- [98] Loader, B.G, Gregory A.P. Bownds, D., Coaxial artefact standard for specific absorption rate 100 kHz to 400 MHz, *Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*, 23-27 March, 2009, Beijing, China
- [99] Low, D.A. and Dempsey, J.F., Evaluation of the gamma dose distribution comparison method. *Med. Phys.* vol. 30, no. 9, pp. 2455, 2003

- [100] Magee, J.W., Molar heat capacity (C_v) for saturated and compressed liquid and vapor nitrogen from 65 to 300 K at pressures to 35 MPa, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, vol. 96, no. 6, pp. 725–740, Nov./Dec. 1991
- [101] Manning M. and Massey P., "Rapid SAR testing of mobile phone prototype using a spherical test geometry", in *IEE Tech. on Antenna Measurements and SAR Seminar*, Loughborough, U.K., May 28–29, 2002
- [102] Merckel O., Fleury G., Bolomey J.-C., "Rapid SAR measurement via parametric modeling", *Proc. 5th International Congress of the European BioElectromagnetics Association (EBEA)*, pp. 75–77, Helsinki, Finland, Sep. 2001
- [103] Merckel O., Bolomey J.-Ch., Joisel A., "Near-field approach to Rapid SAR Measurement of Mobile Phones", *Symp. of the Association for Measurement and Testing of Antennas (AMTA 2003)*, Irvine, Denver, USA, Oct. 2003
- [104] Meier, K., Burkhardt, M., Schmid, T., and Kuster, N., Broadband calibration of E-field probes in lossy media. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 44, no. 10, pp. 1954–1962, Oct. 1996
- [105] Meyer, F.J.C., Palmer, K.D. and Jakobus, U., Investigation into the accuracy, efficiency and applicability of the method of moments as numerical dosimetry tool for the head and hand of a mobile phone user. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 114–125, July 2001
- [106] Migliore, M.D., Partial self-calibration method for permittivity measurement using truncated coaxial cable. *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 15, pp. 1275–1277, July 2000
- [107] Misra, D., A quasi-static analysis of open-ended coaxial lines. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, Oct. 1987, vol. 35, no. 10, pp. 925–928
- [108] Misra, D., Chhabra, M., Epstein, B.R., Mrozniak, M. and Foster, K.R., Noninvasive electrical characterization of materials at microwave frequencies using an open-ended coaxial line: test of an improved calibration technique. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 38, no. 1, pp. 8–14, Jan. 1990
- [109] Misra, D., On the measurement of the complex permittivity of materials by an open-ended coaxial probe. *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 161–163, May 1995
- [110] Mosig, J.R., Besson, J.C.E, Gex-Fabry, M. and Gardiol, F.E., Reflection of an open-ended coaxial line and application to non-destructive measurement of materials. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-30, pp 46–51, 1981
- [111] Monebhurrun, V., Wong, M.F., Gati, A., Wiart, J., "Study of the influence of the hand on the specific absorption rate evaluation of mobile phones", in *Proc. URSI, Istanbul*, Aug. 2011
- [112] Monebhurrun, V., Wong, M.F., Gati, A., Wiart, J., "Numerical and experimental investigations of the influence of the hand on the specific absorption rate evaluations of mobile phones", in *Proc. 33rd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, Halifax, June 2011
- [113] Monebhurrun, V., Influence of the hand on the specific absorption rate assessments of mobile phones. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 3, pp. 654–656, 2012
- [114] Monebhurrun, V., "Study of the influence of a CTIA hand phantom on the specific absorption rate measurements of mobile phones", in *Proc. BioEM 2013*, Thessaloniki, June 2013
- [115] Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments* (4th edition), New York: John Wiley and Sons, 1997

- [116] Nadakuduti, J., Kühn, S., Fehr, M., Douglas, M., Poković, K. and Kuster, N., Effect of Diode Response of Electromagnetic Field Probes for the Measurements of Complex Signals. IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 54, no. 6, pp. 1195-1204, Dec. 2012
- [117] Nahman, N.S., Kanda, M., Larsen, E.B. and Crawford, M.L., Methodology for standard electromagnetic field measurements. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-34, no. 4, pp. 490-503, Dec. 1985
- [118] Nesterova M., Review of Head-Hand Studies between 1997-1999, April 2012
- [119] Nevels, R.D., Butler, C.M. and Yablon, W., The annular slot antenna in a lossy biological medium. IEEE Trans. Microwave Theory Techn., vol. 33, no. 4, pp 314-319, 1985
- [120] Niskala K., "Multimode SA test eduction", Final epo, IEC MT1 meeting, Tokyo-Japan, May 2014
- [121] NIST TN1297, Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1994
- [122] Nyshadam, A., Sibbald, C.L. and Stuchly, S.S., Permittivity measurements using open-ended sensors and reference liquid calibration – an uncertainty analysis. IEEE Trans. Microwave Theory Techn., vol. 40, no. 2, pp. 305-314, Feb. 1992
- [123] Onishi, T. and Uebayashi S., Influence of phantom shell on SAR measurement in 3-6 GHz frequency range, IEICE Trans. Commun., vol. E88-B, no. 8, pp. 3257–3262, 2005
- [124] Park, K., Jun, H., Joyner, K., Lee, B., "Hand effect on Head SAR: Simulation and Additional Tests", Report to IEC PT 62209 MT1, December 2009
- [125] Park, G.B., Joyner, K., Jang, J.D., Modified DUT Holder for SAR Measurement. IEC 62209 MT1 Meeting Turin, 11-13 Sept. 2012
- [126] Pelosi, M., Franek, O., Knudsen, M.B., Christensen, M. and Pedersen, G.F., A grip study for talk and data modes in mobile phones. IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 57, no. 4, pp. 856–865, Apr. 2009
- [127] Pelosi, M., Franek, O., Pedersen, G.F., Knudsen, M., "User's Impact on PIFA Antennas in Mobile Phones", IEEE 69th Vehicular Technology Conference, Barcelona, Spain, 26-29 April 2009
- [128] Person, C., Ahlonsou, L.N. and Grangeat, C., "New test bench for the characterization of SAR measurement probes used in tissue equivalent liquids", Bioelectromagnetics Society 22nd Annual Meeting, Munich, Germany, June 11-16, 2000
- [129] Person, C., Tanné, G., Ahlonsou, L.N., Ngounou, C. and Grangeat, C., "New reference antennas for SAR probe calibration in tissue equivalent liquid", Millennium Conference on Antennas and Propagation, AP2000, Davos, Switzerland, April 9-14, 2000
- [130] Peyman, A. and Gabriel, C., "Tissue equivalent liquids for SAR measurement at microwave frequencies", Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting, Quebec, Canada, June 2002, poster P-53
- [131] Poković, K., Advanced Electromagnetic Probes for Near Field Evaluation. Doc. Tech. Sci. Diss. ETH Nr. 13334. Switzerland, Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 1999
- [132] Poković, K., Schmid, T. and Kuster, N., Robust setup for precise calibration of E-field probes in tissue simulating liquids at mobile communication frequencies. In Proceedings ICECOM'97. Dubrovnik, Croatia, Oct. 12-17, 1997, pp. 120-124

- [133] Poković, Katja. Advanced electromagnetic probes for near-field evaluations. PhD Thesis, ETH Zürich, Nr. 13334 1999
- [134] Pournaropoulos, C.L., and Misra, D.K., The co-axial aperture electromagnetic sensor and its application in material characterization. *Meas. Sci. Tech.*, vol. 8, pp. 1191-1202, 1997
- [135] Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A. and Vetterling, W.T., *Numerical Recipes in FORTRAN 77: The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press, 1992
- [136] Ramo, S., Whimmery, J.R, and van Duzer, T., *Fields and Waves in Communication Electronics*. New York, Wiley, 1993
- [137] Rocher, F., Julien, T., Derat, B., "Impact of a Hand Phantom on the Measured Average SAR", presentation to ICES TC-34 committee, December 11, 2008
- [138] Schmid, T., Egger, O. and Kuster, N., Automated E-field scanning system for dosimetric assessments. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 44, no. 1, pp. 105-113, Jan. 1996
- [139] Schönborn, F., Burkhardt, M. and Kuster, N., The difference of EM energy absorption between adults and children. *Health Phys.*, vol. 74, no. 2, pp. 160-168, Feb. 1998
- [140] Schiavoni A., Francavilla M., Forigo D., Deplano M., "A Procedure to Reduce the Qualification Time in SAR Compliance Tests", *BEMS 2005*, June 2005
- [141] Taylor, J.R., *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties In Physical Measurements* (2nd ed.), Sausalito, CA: University Science Books, 1997
- [142] Tilley, A.R. and Henry Dreyfuss Associates, *The Measure of Man and Woman: Human Factors in Design*, Wiley, Dec. 2001
- [143] Toropainen, A., Vainikainen, P. and Drossos, A., Method for accurate measurement of complex permittivity of tissue equivalent liquids. *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 1, pp. 32-34, 2000
- [144] UKAS LAB34, *The Expression of Uncertainty in EMC Testing*. Feltham, UK: United Kingdom Accreditation Service, 2002
- [145] UKAS M3003, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*. Feltham, UK: United Kingdom Accreditation Service, 1997
- [146] Ustuner, K.F. and Ferrai, L.A., Discrete splines and spline filters. *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 39, no. 7, pp 417-422, July 1991
- [147] Vigneras, V., *Elaboration and characterization of biological tissues equivalent liquids in the frequency range 0.9-3 GHz, final report*. France: PIOM Laboratory, University of Bordeaux, Nov. 2001
- [148] Von Hippel, A., *Dielectric Materials and Applications*. Cambridge, MA: MIT Press, 1954
- [149] Watanabe, S., Taki, M., Nojima, T. and Fujiwara, O., Characteristics of the SAR distribution in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio, *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 44, no. 10, pp. 1874–1883, Oct. 1996
- [150] Wu, T., Lin, X., Yang, J., Zhao, C., Zhang, C. and Shao, Q., "TD-SCDMA Mobile Phone's SAR Measurement about OTA Hand Phantom", *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, Xi'an, China, March 22-26, 2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	235
INTRODUCTION.....	238
1 Domaine d'application.....	239
2 Références normatives	239
3 Termes et définitions	239
4 Symboles et abréviations	244
4.1 Grandeurs physiques	244
4.2 Constantes	245
4.3 Abréviations.....	245
5 Spécifications du système de mesure.....	246
5.1 Exigences générales	246
5.2 Spécifications du fantôme (enveloppe et liquide).....	247
5.3 Main et support de dispositif.....	248
5.4 Exigences du système de balayage	249
5.5 Spécifications du support de dispositif	249
5.6 Caractéristiques de la lecture électronique.....	249
6 Protocole pour l'évaluation du DAS	250
6.1 Généralités	250
6.2 Préparation des mesurages.....	250
6.2.1 Préparation du liquide équivalent aux tissus et <i>contrôle du système</i>	250
6.2.2 Préparation du dispositif en essai (DUT) sans fil	251
6.2.3 Modes de fonctionnement.....	251
6.2.4 Positionnement du DUT par rapport au fantôme.....	254
6.2.5 Fréquences d'essai pour le DUT.....	261
6.3 Essais à effectuer	262
6.4 Procédure de mesure.....	264
6.4.1 Généralités.....	264
6.4.2 Procédure générale.....	264
6.4.3 Mesurages de DAS de combinés avec des antennes multiples ou des émetteurs multiples.....	268
6.5 Post-traitement de données de mesure de DAS	275
6.5.1 Interpolation.....	275
6.5.2 Extrapolation.....	275
6.5.3 Définition du volume d'intégration.....	275
6.5.4 Recherche des maxima	275
6.6 Essai rapide de DAS	275
6.6.1 Généralités	275
6.6.2 Procédure A de mesure rapide de DAS.....	277
6.6.3 Essai rapide de DAS de bandes de fréquences exigées	279
6.6.4 Procédure B de mesure rapide de DAS.....	280
6.7 Réduction d'essai de DAS	283
6.7.1 Exigences générales	283
6.7.2 Réduction d'essai pour différents modes de fonctionnement dans la même bande de fréquences en utilisant la même technologie sans fil.....	284
6.7.3 Réduction d'essai basée sur des caractéristiques de conception de DUT	285
6.7.4 Réduction d'essai basée sur l'analyse de niveau de DAS	286

6.7.5	Réduction d'essai basée sur des considérations d'émission multibande simultanée	289
7	Estimation des incertitudes	290
7.1	Considérations générales	290
7.1.1	Concept pour l'estimation des incertitudes	290
7.1.2	Évaluations de type A et de type B	290
7.1.3	Degrés de liberté et facteur d'élargissement	291
7.2	Composantes contribuant à l'incertitude	291
7.2.1	Généralités	291
7.2.2	Étalonnage des sondes de DAS	292
7.2.3	Contribution des contraintes mécaniques	297
7.2.4	Enveloppe du fantôme	298
7.2.5	Incertainces de positionnement du dispositif et du support	299
7.2.6	Incertaince des paramètres du liquide équivalent aux tissus	301
7.2.7	Incertaince de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	304
7.2.8	Dérive de DAS mesuré	306
7.2.9	Conditions RF ambiantes	308
7.2.10	Contribution du post-traitement des données	308
7.2.11	Incertaince de mise à l'échelle de DAS	314
7.2.12	Écart des sources expérimentales	315
7.2.13	Autres contributions à l'incertaince lors de l'utilisation de sources de validation du système	315
7.3	Calcul du bilan d'incertaince	316
7.3.1	Incertainces composées et élargies	316
7.3.2	Incertaince élargie maximale	316
7.4	Incertaince de méthodes rapides de DAS basées sur des procédures de mesure et des techniques de post-traitement spécifiques	326
7.4.1	Généralités	326
7.4.2	Évaluation d'incertaince de mesure	326
8	Rapport de mesure	335
8.1	Généralités	335
8.2	Éléments à enregistrer dans le rapport de mesure	335
Annexe A (normative)	Spécifications du fantôme	338
A.1	Justification pour la forme du fantôme SAM	338
A.2	Spécifications du fantôme SAM	338
A.2.1	Généralités	338
A.2.2	Enveloppe du fantôme	342
A.3	Spécifications du fantôme plan	344
A.4	Liquides équivalents aux tissus	345
Annexe B (normative)	Étalonnage et caractérisation de sondes dosimétriques	347
B.1	Remarques introductives	347
B.2	Linéarité	348
B.3	Évaluation de la sensibilité des capteurs-dipôles	348
B.3.1	Généralités	348
B.3.2	Procédures d'étalonnage en deux étapes	348
B.3.3	Procédures d'étalonnage en une étape	355
B.3.4	Méthode du calorimètre coaxial	359
B.4	Isotropie	361

B.4.1	Isotropie axiale	361
B.4.2	Isotropie hémisphérique	361
B.5	Limite inférieure de détection	367
B.6	Effets de bord	368
B.7	Temps de réponse	368
Annexe C (normative) Techniques post-traitement		369
C.1	Processus d'extrapolation et d'interpolation	369
C.1.1	Remarques introductives	369
C.1.2	Procédures d'interpolation	369
C.1.3	Procédures d'extrapolation	369
C.2	Procédure d'intégration et recherche du maximum	369
C.2.1	Procédures d'intégration par le volume	369
C.2.2	Méthode d'intégration par extrusion	370
C.2.3	Recherche du DAS maximal et évaluation de l'incertitude	370
C.3	Exemple de mise en œuvre de paramètres pour le balayage et l'évaluation des données	370
C.3.1	Généralités	370
C.3.2	Exigences de mesure du balayage de surface	370
C.3.3	Balayage-zoom	371
C.3.4	Extrapolation	371
C.3.5	Interpolation	371
C.3.6	Intégration	372
Annexe D (normative) Vérification du système de mesure de DAS		373
D.1	Considérations générales	373
D.2	<i>Contrôle du système</i>	373
D.2.1	Objet	373
D.2.2	Montage du fantôme	374
D.2.3	Source de <i>contrôle du système</i>	374
D.2.4	Mesurage de la puissance d'entrée de la source de <i>contrôle du système</i>	375
D.2.5	Procédure de <i>contrôle du système</i>	377
D.3	<i>Validation du système</i>	378
D.3.1	Objet	378
D.3.2	Montage du fantôme	378
D.3.3	Sources de <i>validation du système</i>	378
D.3.4	Mesurage de la puissance d'entrée du dipôle de référence	379
D.3.5	Procédure de <i>validation du système</i>	379
D.3.6	Valeurs numériques cibles de DAS	381
D.4	<i>Validation du système et contrôle du système</i> de méthode rapide de DAS	383
D.4.1	Généralités	383
D.4.2	<i>Validation du système</i> de méthode rapide de DAS	383
D.4.3	<i>Contrôle du système</i> de méthode rapide de DAS	385
Annexe E (normative) Comparaisons interlaboratoires		386
E.1	Objet	386
E.2	Montage du fantôme	386
E.3	Combinés sans fil de référence	386
E.4	Réglage de la puissance	386
E.5	Comparaison interlaboratoires – Procédure	387
Annexe F (informative) Définition du système de coordonnées d'un fantôme et du système de coordonnées d'un dispositif en essai (DUT)		388

Annexe G (informative) Sources de <i>validation du système</i> DAS	390
G.1 Source de dipôle normalisé	390
G.2 Source de guide d'ondes normalisé	392
Annexe H (informative) Fantôme plan.....	393
Annexe I (informative) Exemples de formules pour les liquides équivalents aux tissus de la tête de fantôme	396
I.1 Considérations générales	396
I.2 Constituants.....	396
I.3 Formules de liquides équivalents aux tissus (permittivité/conductivité)	397
Annexe J (informative) Mesurages des propriétés diélectriques des liquides et estimation des incertitudes.....	400
J.1 Remarques introductives	400
J.2 Techniques de mesure	400
J.2.1 Généralités	400
J.2.2 Instrumentation	400
J.2.3 Principes généraux	400
J.3 Ligne de transmission coaxiale de banc de mesure.....	401
J.3.1 Généralités	401
J.3.2 Montage de l'équipement	401
J.3.3 Procédure de mesure	402
J.4 Sonde coaxiale de contact.....	403
J.4.1 Généralités	403
J.4.2 Montage de l'équipement	403
J.4.3 Procédure de mesure	405
J.5 Ligne de transmission TEM	405
J.5.1 Généralités	405
J.5.2 Montage de l'équipement	405
J.5.3 Procédure de mesure	406
J.6 Propriétés diélectriques des liquides de référence	407
Annexe K (informative) Incertitude de mesure des méthodes rapides de DAS spécifiques et exemples de DAS rapides	410
K.1 Généralités	410
K.2 Évaluation d'incertitude de mesure	411
K.2.1 Généralités	411
K.2.2 Etalonnage de sonde et dérive d'étalonnage du système	411
K.2.3 Isotropie	412
K.2.4 Incertitude de positionnement de capteur	412
K.2.5 Sensibilité de position de capteur	413
K.2.6 Couplage mutuel de capteur	413
K.2.7 Couplage du capteur avec le DUT	413
K.2.8 Immunité / réception secondaire du système de mesure.....	413
K.2.9 Écarts de forme de fantôme	414
K.2.10 Variation spatiale des paramètres diélectriques	414
K.3 Exemples de DAS rapide.....	419
K.3.1 Généralités	419
K.3.2 Exemple 1: Essais pour une bande de fréquence et un mode	420
K.3.3 Exemple 2: Essais sur des bandes de fréquences et modes multiples	425
K.3.4 Exemple 3: Essais pour une bande de fréquences et un mode (Procédure B)	428

K.3.5	Exemple 4: Essais sur des bandes de fréquences et modes multiples (Procédure B)	432
Annexe L (informative) Informations de support de réduction d'essai DAS.....		436
L.1	Généralités	436
L.2	Réduction d'essai basée sur des caractéristiques de conception de DUT	436
L.2.1	Généralités	436
L.2.2	Présentation de l'analyse statistique.....	436
L.2.3	Résultats d'analyse	437
L.2.4	Conclusions	440
L.2.5	Extension à la transmission à plusieurs antennes	440
L.2.6	Réduction d'essai basée sur l'analyse des résultats de DAS sur d'autres modulations de signal	441
L.3	Réduction d'essai basée sur l'analyse de niveau de DAS	443
L.3.1	Généralités	443
L.3.2	Analyse statistique	444
L.3.3	Exemple d'applicabilité de réduction d'essai	447
L.4	Autres approches statistiques pour rechercher les conditions d'essai de DAS élevé	448
L.4.1	Généralités	448
L.4.2	Réductions d'essai basées sur un plan d'expérience.....	449
L.4.3	Analyse de données non structurées	449
Annexe M (informative) Application des procédures d'essai pour le DAS de la tête.....		450
Annexe N (informative) Études des effets potentiels de la main sur le DAS de la tête		453
N.1	Considérations générales	453
N.2	Informations de base.....	454
N.2.1	Généralités	454
N.2.2	Fantômes de main	454
N.3	Synthèse des études expérimentales	454
N.3.1	Généralités	454
N.3.2	Études expérimentales utilisant des systèmes de mesure de DAS entièrement conformes.....	454
N.3.3	Études expérimentales utilisant d'autres systèmes de mesure de DAS	455
N.4	Synthèse des études numériques	455
N.5	Conclusions	455
Annexe O (informative) Guide de démarrage rapide.....		457
O.1	Généralités	457
O.2	Organigramme général du guide de démarrage rapide	457
Bibliographie		462

Figure 1 – Lignes de référence verticale et horizontale et Points de référence A, B sur deux exemples types de dispositifs: un smart phone avec écran tactile complet (en haut) et un combiné à clavier (en bas)..... 256

Figure 2 – Position "joue" du dispositif sans fil sur le côté gauche du SAM dans laquelle le dispositif doit être maintenu pour la configuration d'essai du fantôme

Figure 3 – Position inclinée du dispositif sans fil sur le côté gauche du SAM

Figure 4 – DUT à facteur de forme différent et application de coordonnées normalisées et de points de référence

Figure 5 – Schéma de principe des essais à effectuer

Figure 6 – Orientation de la sonde par rapport à la droite perpendiculaire à la surface du fantôme à deux emplacements différents	267
Figure 7 – Procédure de mesure des différents types de signaux corrélés	274
Figure 8 – Procédure B de mesure rapide de DAS	283
Figure 9 – Organigramme modifié de 6.4.2	289
Figure 10 – Orientation et surface du volume d'intégration par rapport à la surface du fantôme	314
Figure A.1 – Représentation des dimensions du Tableau A.1 et du Tableau A.2	339
Figure A.2 – Vue de côté rapprochée du fantôme montrant la région de l'oreille	341
Figure A.3 – Vue de côté du fantôme montrant les marquages pertinents	342
Figure A.4 – Bissection sagittale du fantôme avec périmètre étendu (montrée sur le côté comme lors des essais de DAS du dispositif)	343
Figure A.5 – Représentation du fantôme représentant la bande centrale	343
Figure A.6 – Section du SAM au niveau du plan de référence	344
Figure A.7 – Dimensions du fantôme elliptique	345
Figure B.1 – Montage expérimental pour l'évaluation de la sensibilité (facteur de conversion) utilisant un guide d'ondes rectangulaire vertical	353
Figure B.2 – Représentation du montage d'évaluation du gain de l'antenne	356
Figure B.3 – Schéma du système de calorimètre coaxial	360
Figure B.4 – Montage utilisé pour évaluer l'écart de l'isotropie sphérique dans le liquide équivalent aux tissus	363
Figure B.5 – Autre montage pour évaluer l'écart de l'isotropie sphérique dans le liquide équivalent aux tissus	364
Figure B.6 – Montage expérimental pour l'évaluation de l'isotropie hémisphérique	365
Figure B.7 – Conventions pour la position (ξ) du dipôle et la polarisation (θ)	366
Figure B.8 – Mesurage de l'isotropie hémisphérique avec l'antenne de référence	367
Figure C.1 – Méthode d'intégration par extrusion	370
Figure C.2 – Extrapolation des données de DAS à la surface interne du fantôme basée sur une courbe polynomiale des moindres carrés d'ordre 4 des données mesurées (quadratiques)	371
Figure D.1 – Montage d'essai pour le <i>contrôle du système</i>	376
Figure F.1 – Exemple de système de coordonnées de référence pour le point de référence (ERR) de l'oreille gauche du fantôme SAM	388
Figure F.2 – Exemple de système de coordonnées pour le dispositif en essai	389
Figure G.1 – Détails mécaniques du dipôle normalisé	391
Figure G.2 – Source de guide d'ondes normalisé (dimensions conformes au Tableau G.2)	392
Figure H.1 – Dimensions du montage de fantôme plan utilisé pour dériver les dimensions minimales du fantôme pour W et L pour une profondeur de fantôme donnée D	394
Figure H.2 – Incertitude prédite par l'utilisation d'un code FDTD pour un DAS maximal moyenné pour 10 g, en fonction des dimensions du fantôme plan comparé à un fantôme plan infini, à 800 MHz	395
Figure J.1 – Montage du banc de mesure	401
Figure J.2 – Sonde coaxiale sans terminaison avec des rayons intérieur et extérieur a et b , respectivement	404
Figure J.3 – Montage d'essai diélectrique de ligne TEM [143]	406

Figure K.1 – Valeurs de DAS pour douze configurations d'essai hypothétiques mesurées dans les mêmes bandes de fréquences et modulation (par exemple, GSM 900 MHz) en utilisant une évaluation complète de DAS hypothétique (DAS complet) et deux évaluations de DAS rapides (DAS rapide 1 et DAS rapide 2)	419
Figure L.1 – Distribution de "Incliné/Joue"	438
Figure L.2 – DAS par rapport au DAS en position avec le DAS maximal en mode GSM	443
Figure L.3 – Deux points identifiant la distance minimale entre la position du DAS maximal interpolé et les points à $0,6 \times DAS_{\max}$	444
Figure L.4 – Histogramme pour $D_{\min}$ dans le cas de GSM 900 et d'un isoniveau à $0,6 \times DAS_{\max}$	445
Figure L.5 – Histogramme pour la variable aléatoire <i>Facteur1g1800</i>	446
Figure O.1 – Organigramme du guide de démarrage rapide	459
 Tableau 1 – Paramètres de balayage de surface	 266
Tableau 2 – Paramètres de balayage-zoom	266
Tableau 3 – Exemple de méthode pour déterminer la valeur de DAS combiné utilisant la Variante 1	272
Tableau 4 – Valeurs de seuil $TH(f)$ utilisées dans le protocole de réduction d'essai proposé	287
Tableau 5 – Exemple de fiche d'incertitudes et exemple de valeurs numériques pour le mesurage (ε'_r) de la constante diélectrique (σ) et de la conductivité	303
Tableau 6 – Incertitude de la Formule (41) en fonction du changement maximal de permittivité ou conductivité	306
Tableau 7 – Paramètres pour la fonction de référence f_1 de la Formule (48)	310
Tableau 8 – Incertitudes associées aux écarts des paramètres de la source de guide d'ondes normalisé par rapport à la théorie	315
Tableau 9 – Autres contributions à l'incertitude associées aux sources de dipôle décrites à l'Annexe G	316
Tableau 10 – Autres contributions à l'incertitude associées aux sources de guide d'ondes normalisé décrites à l'Annexe G	316
Tableau 11 – Exemple de fiche d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai de DAS du combiné	318
Tableau 12 – Exemple de fiche d'évaluation d'incertitude de mesure pour la <i>validation du système</i>	321
Tableau 13 – Exemple de fiche d'évaluation de répétabilité de mesure pour le <i>contrôle du système</i> (applicable pour un système)	323
Tableau 14 – Bilan d'incertitude de mesure pour des essais rapides de DAS relatif	331
Tableau 15 – Bilan d'incertitude de mesure pour le <i>contrôle du système</i> en utilisant des méthodes rapides de DAS	333
Tableau A.1 – Dimensions utilisées pour déduire le fantôme SAM à partir des données de l'ARMÉE sur le 90 ^e percentile de la tête masculine (Gordon et al. [56])	340
Tableau A.2 – Dimensions SAM supplémentaires comparées aux dimensions sélectionnées à partir des données de l'ARMÉE sur le 90 ^e percentile de la tête masculine (Gordon et al. [56]) – section spécifique de mesure de la tête	340
Tableau A.3 – Propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus de la tête	346
Tableau B.1 – Analyse de l'incertitude de l'étalonnage du transfert avec des sondes de température	351
Tableau B.2 – Lignes directrices de conception de guides d'ondes d'étalonnage	354
Tableau B.3 – Analyse d'incertitude de l'étalonnage de sonde dans le guide d'ondes	355

Tableau B.4 – Analyse de l'incertitude pour l'évaluation du gain d'antenne de référence.....	357
Tableau B.5 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage avec une antenne de référence	358
Tableau B.6 – Composantes d'incertitude pour l'étalonnage de sonde en utilisant des méthodes thermiques.....	361
Tableau D.1 – Valeurs numériques cibles de DAS (W/kg) pour le dipôle normalisé et le fantôme plan.....	381
Tableau D.2 – Valeurs numériques cibles de DAS pour les guides d'ondes spécifiés à l'Article G.2 en contact avec un fantôme plan [94].....	383
Tableau G.1 – Dimensions mécaniques des dipôles de référence	390
Tableau G.2 – Dimensions mécaniques du guide d'ondes normalisé	392
Tableau H.1 – Paramètres utilisés pour calculer les valeurs de DAS de référence du Tableau D.1	395
Tableau I.1 – Formules suggérées pour obtenir les paramètres diélectriques cibles: 300 MHz à 900 MHz	397
Tableau I.2 – Formules suggérées pour obtenir les paramètres diélectriques cibles: 1 450 MHz à 2 000 MHz.....	398
Tableau I.3 – Formules suggérées pour obtenir les paramètres diélectriques cibles: 2 100 MHz à 5 800 MHz.....	399
Tableau J.1 – Paramètres pour le calcul des propriétés diélectriques de différents liquides de référence	408
Tableau J.2 – Propriétés diélectriques de liquides de référence à 20 °C.....	408
Tableau K.1 – Bilan d'incertitude de mesure pour des essais rapides de DAS relatifs qui satisfont aux exigences de l'Annexe K, pour les essais effectués dans une bande de fréquences et modulation	415
Tableau K.2 – Bilan d'incertitude de mesure pour le <i>contrôle du système</i> en utilisant des méthodes rapides de DAS satisfaisant aux exigences de l'Annexe K	417
Tableau K.3 – Mesurages réalisés selon l'Étape a).....	420
Tableau K.4 – Mesurages réalisés selon l'Étape b).....	421
Tableau K.5 – Mesurages réalisés selon l'Étape c).....	422
Tableau K.6 – Mesurages réalisés selon 6.4.2, Étape 2).....	423
Tableau K.7 – Mesurages réalisés selon 6.4.2, Étape 3).....	424
Tableau K.8 – Mesurages réalisés selon 6.4.2, Étape 4).....	424
Tableau K.9 – Mesurages rapides de DAS réalisés selon l'Étape a).....	425
Tableau K.10 – Mesurages rapides de DAS présentant une valeur de DAS maximale selon l'Étape b).....	426
Tableau K.11 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape b).....	426
Tableau K.12 – Mesurages rapides de DAS présentant des valeurs selon les exigences de l'Étape c).....	427
Tableau K.13 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape c).....	427
Tableau K.14 – Mesurages rapides de DAS présentant des valeurs selon les exigences de l'Étape e).....	428
Tableau K.15 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape e).....	428
Tableau K.16 – Mesurages réalisés selon l'Étape a).....	429
Tableau K.17 – Mesurages réalisés selon l'Étape b).....	430
Tableau K.18 – Mesurages réalisés selon l'Étape c).....	431
Tableau K.19 – Mesurages réalisés selon l'Étape e).....	431
Tableau K.20 – Mesurages réalisés selon l'Étape f).....	432

Tableau K.21 – Mesurages rapides de DAS réalisés selon l'Étape a)	433
Tableau K.22 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape b).....	433
Tableau K.23 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape e).....	434
Tableau K.24 – Mesurages complets de DAS réalisés selon l'Étape e).....	435
Tableau L.1 – Nombre de combinés utilisés pour l'étude statistique	437
Tableau L.2 – Résultats d'analyse statistique de $P(\text{Incliné/Joue} > x)$ pour différentes valeurs de x	438
Tableau L.3 – Résultats d'analyse statistique de $P(\text{Incliné/Joue} > x)$ pour DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g.....	439
Tableau L.4 – Résultats d'analyse statistique de $P(\text{Incliné/Joue} > x)$ pour différentes positions d'antenne	439
Tableau L.5 – Résultats d'analyse statistique de $P(\text{Incliné/Joue} > x)$ pour différentes bandes de fréquences.....	440
Tableau L.6 – Résultats d'analyse statistique de $P(\text{Incliné/Joue} > x)$ pour différents types de dispositifs	440
Tableau L.7 – Distance $D_{\min}^*$ pour différentes valeurs de l'isoniveau	445
Tableau L.8 – Seuils expérimentaux pour avoir une probabilité de 95 % que la valeur de DAS maximal mesurée à partir du balayage de surface ait également un DAS maximal moyenné.....	447
Tableau L.9 – Valeurs de DAS à partir du balayage de surface (bande GSM 900)	447
Tableau L.10 – Valeurs de DAS à partir du balayage de surface (bande GSM 900)	448
Tableau M.1 – Tableau de résultats de DAS pour des exemples de résultats d'essai – GSM 850	451
Tableau M.2 – Tableau de résultats de DAS pour des exemples de résultats d'essai – GSM 900	451
Tableau M.3 – Tableau de résultats de DAS pour des exemples de résultats d'essai – GSM 1800	452
Tableau M.4 – Tableau de résultats de DAS pour des exemples de résultats d'essai – GSM 1900	452
Tableau O.1 – Guide de démarrage rapide: Étapes d'évaluation du DAS.....	460

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURE DE MESURE POUR L'ÉVALUATION
DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE DE L'EXPOSITION HUMAINE
AUX CHAMPS RADIOFRÉQUENCES PRODUITS PAR LES DISPOSITIFS
DE COMMUNICATIONS SANS FIL TENUS À LA MAIN OU PORTÉS PRÈS
DU CORPS –****Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille
(Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 62209-1 a été établie par le comité d'études 106 de l'IEC: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2005. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) Extension de la plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz.
- b) Méthodes rapides de DAS.
- c) Techniques de réduction d'essai.
- d) Mesurages de DAS de terminaux avec des antennes multiples et des émetteurs multiples.
- e) L'écart des propriétés diélectriques des liquides équivalents aux tissus est admis jusqu'à 10 %.
- f) Lignes directrices relatives à l'évaluation de l'incertitude pour les écarts de température et de paramètres diélectriques des liquides équivalents aux tissus.
- g) Ajout des annexes suivantes:
 - Annexe K (informative) Incertitude de mesure des méthodes rapides de DAS spécifiques et exemples de DAS rapides
 - Annexe L (informative) Informations de support de réduction d'essai DAS
 - Annexe M (informative) Application des procédures d'essai pour le DAS de la tête
 - Annexe N (informative) Études des effets potentiels de la main sur le DAS de la tête
 - Annexe O (informative) Guide de démarrage rapide.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/361/FDIS	106/365/RVD

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

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

Dans cette norme, les caractères d'imprimerie suivants sont utilisés:

- protocoles d'essai spécifiques: *caractères italiques*.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62209, publiées sous le titre général *Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique (DAS) de l'exposition humaine aux champs radiofréquences produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps* peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Les futures normes de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des normes existant déjà dans cette série sera mis à jour lors de la prochaine édition.

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

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

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

INTRODUCTION

Le comité d'études 106 de l'IEC a pour objet d'élaborer des Normes internationales sur les méthodes de mesure et de calcul utilisées pour évaluer l'exposition humaine aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Le comité d'études 106 de l'IEC a élaboré la présente partie de l'IEC 62209 afin de fournir des procédures d'évaluation du débit d'absorption spécifique (DAS) de l'exposition humaine due aux dispositifs d'émission de champ électromagnétique (EMF), lorsque ces dispositifs sont maintenus près de l'oreille. Les types de dispositifs comprennent, sans toutefois s'y limiter, les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les casques, etc., qui sont utilisés à proximité de l'oreille. Les normes du comité d'études 106 de l'IEC ne traitent pas des limites d'exposition. L'évaluation de la conformité dépend de la politique des organismes de réglementation nationaux. Alors que des restrictions de base sur le DAS dans les lignes directrices ICNIRP [64]¹ vont jusqu'à 10 GHz, la plage de fréquences pour la présente partie de l'IEC 62209 est limitée à une fréquence d'extrémité supérieure de 6 GHz dans la mesure où les téléphones sans fil actuels fonctionnent en dessous de cette fréquence.

Le comité d'études 106 de l'IEC et TC 34 de l'IEEE/ICES² ont travaillé ensemble de manière formelle par l'intermédiaire de membres communs pour atteindre l'objectif d'harmonisation, entre l'Equipe de maintenance 1 (MT 1) du comité d'études 106 de l'IEC dans le cadre de la présente partie de l'IEC 62209 et l'ICES/IEEE TC 34 pour l'IEEE Std. 1528 [66]. Pendant le processus d'élaboration de ces documents, un effort particulier a été fait pour harmoniser ces deux normes.

Afin d'aider l'utilisateur de la présente partie de l'IEC 62209, un guide de démarrage rapide a été élaboré et inclus dans une annexe informative (voir l'Annexe O). Le guide de démarrage rapide n'est pas un substitut à l'observance de la procédure détaillée de la norme.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

² International Committee on Electromagnetic Safety de l'IEEE.

PROCÉDURE DE MESURE POUR L'ÉVALUATION DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE DE L'EXPOSITION HUMAINE AUX CHAMPS RADIOFRÉQUENCES PRODUITS PAR LES DISPOSITIFS DE COMMUNICATIONS SANS FIL TENUS À LA MAIN OU PORTÉS PRÈS DU CORPS –

Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille (Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62209 spécifie les protocoles et les procédures d'essai pour le mesurage du DAS maximal moyenné induit à l'intérieur d'un modèle simplifié de la tête avec une reproductibilité définie. Elle s'applique à certains dispositifs de communication tels que les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les casques, etc., émettant des champs électromagnétiques (EMF) et qui sont utilisés tenus contre l'oreille, les structures rayonnantes étant proches de la tête. Ces protocoles et procédures d'essai fournissent une estimation prudente avec une incertitude limitée pour le DAS maximal qui se produirait dans la tête pour une grande majorité de personnes lors de l'utilisation normale de ces dispositifs. La plage de fréquences applicable s'étend de 300 MHz à 6 GHz.

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).

ISO/IEC 17043:2010, *Évaluation de la conformité – Exigences générales concernant les essais d'aptitude*

ISO/IEC 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

isotropie axiale

écart maximal du DAS mesuré lors de la rotation autour de l'axe principal de la sonde tandis que cette dernière est exposée à une onde se propageant dans une direction le long de son axe principal

3.2

puissance conduite

puissance fournie par l'amplificateur de puissance à une charge adaptée

3.3

bande de fréquences

plage de fréquences d'émission associée à un mode de fonctionnement sans fil spécifique

Note 1 à l'article: La bande de fréquences est généralement spécifiée en utilisant des valeurs arrondies; cependant, l'allocation de fréquence réelle peut être légèrement différente, par exemple, la bande GSM de 850 MHz utilise en fait 824 MHz à 849 MHz et 869 MHz à 894 MHz, la bande GSM de 900 MHz utilise en fait 880 MHz à 915 MHz et 925 MHz à 960 MHz.

3.4

restriction de base

limites de conformité de l'exposition de l'homme aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variables dans le temps, mesurées à l'intérieur du corps et basées sur des effets néfastes établis sur la santé

Note 1 à l'article: Dans la plage de fréquences traitée par la présente Norme, la grandeur physique utilisée comme restriction de base est le débit d'absorption spécifique (DAS).

3.5

effet de proximité de bord

<sonde> modification de la sensibilité d'une sonde de champ électrique lorsque l'extrémité de la sonde est située à moins d'un diamètre de l'extrémité de la sonde des limites du milieu

Note 1 à l'article: Cet effet est causé par la distorsion du champ diffracté à l'extrémité de la sonde en raison de la surface du fantôme diélectrique à proximité. Cet effet peut être compensé pour une orientation connue de la sonde par rapport à la surface du fantôme.

3.6

canal

canal RF

subdivision spécifique de la plage de fréquences disponible, selon les paramètres de fonctionnement d'une technologie sans fil

Note 1 à l'article: Le nombre de canaux RF et la largeur de bande du canal peuvent varier en fonction de chaque technologie sans fil. Pour les besoins de la présente Norme, les mesurages de DAS sont effectués sur des canaux spécifiques; par exemple, les canaux supérieur, central ou inférieur de la bande d'émission.

3.7

signaux corrélés <dans le temps>

champs électromagnétiques, associés à des formes d'ondes de signaux distincts, produisant une intégrale de corrélation temps-domaine non nulle à un instant donné

Note 1 à l'article: Pour deux distributions de champs $F_1(r, t)$ et $F_2(r, t)$, de puissance limitée, ladite intégrale est définie comme:

$$(F_1 \otimes F_2)(r, t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T F_1(r, t)^+ \cdot F_2(r, t + \tau) d\tau \quad (1)$$

où r est le vecteur de localisation, l'exposant $+$ représente l'opération de conjugaison complexe et le symbole $\cdot$ représente l'opération de produit intérieur.

Noter que deux champs ne sont pas corrélés à des emplacements dans lesquels ils sont géométriquement orthogonaux. Cette propriété ne correspond généralement pas aux points avoisinants à moins que les formes d'onde respectives soient non corrélées [62].

Dans le cas de signaux scalaires, les formes d'ondes de signaux corrélés produisent une intégrale de corrélation temps-domaine non nulle à un instant donné. Pour deux signaux $s_1(t)$, $s_2(t)$, de puissance limitée, ladite intégrale est définie comme:

$$(s_1 \otimes s_2)(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s_1(t)^+ \cdot s_2(t + \tau) d\tau \quad (2)$$

où l'exposant $+$ représente l'opération de conjugaison complexe.

Note 2 à l'article: Deux signaux non corrélés présenteraient une intégrale de corrélation de fuite, c'est-à-dire l'intégrale ci-dessus est égale à zéro.

Note 3 à l'article: Les Formules (1) et (2) sont à l'origine spécifiées dans l'IEC TR 62630 [62].

3.8

support de dispositif

fixation fabriquée en un matériau à faible perte diélectrique, utilisée pour maintenir le dispositif en essai dans la position d'essai exigée pendant le mesurage de DAS

3.9

dispositif en essai DUT

dispositif qui est soumis à l'essai conformément aux procédures spécifiées dans la présente Norme pour déterminer le débit d'absorption spécifique

Note 1 à l'article: L'abréviation «DUT» est dérivée du terme anglais développé correspondant «device under test».

3.10

constante diélectrique

partie réelle de la permittivité relative complexe du matériau avec pertes

3.11

facteur de charge

rapport de la durée de l'impulsion sur la période de l'impulsion d'un train d'impulsions périodiques

3.12

essai rapide de DAS

<mesurages> utilisation de techniques spéciales, méthodes spéciales ou algorithmes spéciaux pour diminuer le temps de mesure

Note 1 à l'article: Les méthodes rapides de DAS ne satisfont pas pleinement à toutes les exigences normatives de la présente Norme. Les procédures rapides de DAS sont décrites en 6.6.

3.13

essai complet de DAS

<mesurages> utilisation de méthodes, procédures et matériel spécifique qui satisfont pleinement à toutes les exigences normatives de la présente Norme, à l'exception de celles spécifiées en 6.6 et 6.7.4

3.14

combiné

<dispositif de communication sans fil> dispositif tenu à la main destiné à fonctionner à proximité de l'oreille, consistant en une sortie acoustique ou un écouteur et en une entrée acoustique ou un microphone, et contenant un émetteur et un récepteur radio

Note 1 à l'article: Les termes "mobile" et "portable" ont des significations spécifiques mais génériques dans l'IEC 60050 [61] – mobile: capable de fonctionner en déplacement (IEV 151-16-46); portable: capable d'être porté par une personne seule (IEV 151-16-47). Le terme "portable" implique souvent l'aptitude additionnelle à fonctionner en étant porté. Ces définitions sont utilisées alternativement dans différentes réglementations sur le sans-fil et les spécifications industrielles, en se référant dans certains cas aux types de dispositifs sans fil et dans d'autres cas, aux utilisations prévues.

3.15

dispositif installé sur la tête

casque

dispositif destiné à fonctionner à proximité du côté de la tête, consistant en une sortie acoustique ou un écouteur et un microphone, contenant un émetteur et un récepteur radio, et maintenu en position sur ou autour de l'oreille par des supports mécaniques, par exemple autour de la tête. Un dispositif installé sur la tête (casque) est conçu pour être utilisé contre l'oreille mais ne pénètre ni dans le pavillon ni dans le canal auditif. Pour toutes les applications pratiques de la présente Norme, il est considéré comme un combiné étant donné qu'il contient les mêmes composants de base et remplit les mêmes fonctions de base

Note 1 à l'article: Lorsque le dispositif en essai est installé sur la tête (casque), l'utilisateur doit comprendre que le terme combiné désigne un dispositif installé sur la tête dans le contexte de la présente Norme.

Note 2 à l'article: Un dispositif installé sur la tête qui est destiné à être utilisé d'une façon autre que celles prises en compte pour les essais avec fantôme SAM détaillés dans la présente Norme ne relève pas du domaine d'application de la présente Norme (par exemple, un écouteur bouton).

3.16

isotropie hémisphérique

écart maximal du DAS mesuré quand la sonde est en rotation sur son axe principal tandis qu'elle est exposée à une onde de référence ayant différents angles d'incidence par rapport à l'axe de la sonde et une incidence dans le demi-espace face à la sonde

3.17

erreur de linéarité

écart maximal d'une grandeur mesurée par rapport aux valeurs prévues définies par une ligne de référence sur l'étendue de mesure

3.18

multibande

<dispositif sans fil> capable de fonctionner dans plus d'une bande de fréquences

3.19

mode de fonctionnement

protocole sans fil ou norme utilisé(e) par un dispositif pour communiquer avec un autre terminal ou réseau

Note 1 à l'article: Les terminaux modernes peuvent intégrer plusieurs modes de fonctionnement et ceux-ci peuvent fonctionner individuellement ou bien des modes multiples peuvent être simultanément actifs. Des exemples de modes de fonctionnement comprennent GSM, EDGE, EVDO, GPRS, AMRC, AMRC à bande élargie, Bluetooth®, Wi-Fi® et d'autres.³ Chacun de ces modes peut avoir une ou plusieurs bandes d'émission qui lui sont associées.

3.20

DAS maximal moyenné

DAS maximal moyenné à l'intérieur d'une région locale sur la base d'un volume ou d'une masse d'intégration spécifique, par exemple, 1 g ou 10 g de tissu sous la forme d'un cube

Note 1 à l'article: Le DAS est exprimé en W/kg ou de manière équivalente en mW/g.

Note 2 à l'article: Dans la présente Norme, les termes DAS maximal moyenné (sur 1 g ou 10 g) et les termes DAS de 1 g et DAS de 10 g sont utilisés indifféremment.

3.21

profondeur de pénétration

<pour une fréquence donnée> profondeur à laquelle le champ électrique (champ E) d'une onde plane incidente, pénétrant un milieu avec pertes, est ramenée à 1/e de sa valeur juste au-dessous de la surface du milieu avec pertes

Note 1 à l'article: Pour une onde plane incidente perpendiculaire sur un demi-espace plan, la profondeur de pénétration δ est donnée par la Formule (3):

$$\delta = \frac{1}{\omega} \left[\frac{\mu_0 \varepsilon'_t \varepsilon_0}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon'_t \varepsilon_0} \right)^2} - 1 \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

³ Bluetooth est l'appellation commerciale d'un produit distribué par Bluetooth SIG. WiFi est l'appellation commerciale d'un produit distribué par Wi-Fi Alliance. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

3.22**fantôme**

modèle physique similaire en apparence à l'anatomie humaine et composé de matériaux ayant des propriétés électriques similaires aux tissus correspondants

Note 1 à l'article: Un fantôme représentant la tête de l'homme peut être un modèle sphérique simple ou un modèle anthropomorphe à tissus multiples plus complexe.

3.23**pavillon de l'oreille**

partie cartilagineuse extérieure de l'oreille, consistant en l'hélix, le lobe et l'anthélix

3.24**dispositif muni d'un bouton poussoir pour parler**

émetteur-récepteur radio tenu à la main sur lequel l'utilisateur active un commutateur pour basculer entre l'émission et la réception radio (mode de fonctionnement simplex).

EXEMPLE Une radio bidirectionnelle.

3.25**isotropie de la sonde**

mesure dans laquelle la réponse d'une sonde de champ électrique ou de champ magnétique est indépendante de la polarisation et de la direction de propagation de l'onde incidente

3.26**lecture électronique**

composant du système de mesure relié à la sonde de champ E et qui fournit au post-traitement du système de mesure une conversion analogique-numérique des valeurs mesurées

3.27**temps de réponse**

temps nécessaire à l'équipement de mesure pour atteindre 90 % de sa valeur finale après une variation du signal d'entrée

3.28**système de balayage**

système de positionnement automatique capable de placer la sonde de mesure à des positions spécifiées

3.29**sensibilité**

<d'un système de mesure> rapport de l'amplitude de la réponse du système (par exemple, tension) sur l'amplitude de la grandeur mesurée (exemple: carré d'un champ électrique)

3.30**débit d'absorption spécifique, DAS**

le DAS dans le liquide équivalent aux tissus peut être déterminé par la vitesse d'élévation de la température ou par les mesurages de champ E, selon la Formule (4) ou (5):

$$DAS = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (4)$$

$$DAS = c_h \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} \quad (5)$$

où

DAS est le débit d'absorption spécifique en W/kg;

E est la valeur efficace du champ électrique dans le milieu équivalent aux tissus en V/m;

σ est la conductivité électrique du milieu équivalent aux tissus en S/m;

ρ est la masse volumique du milieu équivalent aux tissus en kg/m³;

c_h est la capacité thermique massique du milieu équivalent aux tissus en J/(kg K);

$\left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}$ est la dérivée initiale en fonction du temps de la température dans le milieu équivalent aux tissus en K/s.

3.31 Incertitude

3.31.1

incertitude-type

écart-type estimé du résultat d'un mesurage, égal à la racine carrée positive de la variance estimée

3.31.2

incertitude composée

écart-type estimé du résultat d'un mesurage obtenu en combinant les incertitudes-types individuelles des évaluations de type A et de type B en utilisant la méthode usuelle de "somme quadratique" de combinaison d'écarts-types qui sont obtenus en utilisant la racine carrée positive des variances estimées

3.31.3

incertitude élargie

grandeur définissant un intervalle autour du résultat d'un mesurage et qui est considérée comme englobant une distribution des valeurs dans un intervalle de confiance défini qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande

3.32

évaluation de l'incertitude

<type A> évaluation de l'incertitude par l'analyse statistique d'une série d'observations (mesurages)

3.33

évaluation de l'incertitude

<type B> évaluation de l'incertitude par des moyens autres que l'analyse statistique d'une série d'observations (mesurages)

4 Symboles et abréviations

4.1 Grandeurs physiques

Le Système international d'unités SI est utilisé dans la présente Norme.

Symbole	Grandeur	Unité	Dimensions
α	Coefficient d'atténuation	inverse du mètre	1/m
c_h	Capacité thermique massique	joule par kilogramme par kelvin	J/(kg K)
E	Champ électrique	volt par mètre	V/m
f	Fréquence	hertz	Hz
J	Densité de courant	ampère par mètre carré	A/m ²

Symbole	Grandeur	Unité	Dimensions
P	Puissance absorbée moyenne (temporelle)	watt	W
T	Température	kelvin	K
ε	Permittivité	farad par mètre	F/m
λ	Longueur d'onde	mètre	m
δ	Profondeur de pénétration	mètre	m
σ	Conductivité électrique	siemens par mètre	S/m

NOTE Dans la présente Norme, la température est exprimée en degrés Celsius définis par:
 $T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$.

4.2 Constantes

Symbole	Constante physique	Amplitude
η_0	Impédance intrinsèque de l'espace libre	$120 \pi \Omega$ ou 377Ω
ε_0	Permittivité de l'espace libre	$8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

4.3 Abréviations

Abréviation	Français	Anglais
APS	DAS maximal moyenné absolu	absolute peak spatial-average SAR
CAO	conception assistée par ordinateur	CAD, <i>computer aided design</i>
ERP	point de référence de l'oreille	ear reference point
DUT	dispositif en essai	device under test
RF	radiofréquence	radio frequency
RMS	valeur efficace	root mean square
RSS	somme quadratique	root sum square
SAM	mannequin anthropomorphe spécifique	specific anthropomorphic mannequin
WLAN	réseau local sans fil	wireless local area network
GSM	système global de communications mobiles	global system for mobile communications
GPRS	service général de radiocommunication par paquets	general packet radio service
EDGE	GSM à débit amélioré	enhanced data rates for GSM evolution
CW	onde entretenue	continuous wave
AMRT	accès multiple par répartition temporelle	TDMA, <i>time division multiple access</i>
AMRC	accès multiple par répartition en code	CDMA, <i>code division multiple access</i>
WCDMA	AMRC à bande élargie	wideband code division multiple access
OFDM	multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence	orthogonal frequency-division multiplexing
DCS	service de téléphonie cellulaire numérique	digital cellular service
PCS	service de communications personnelles	personal communications service
UMTS	système universel de télécommunications mobiles	universal mobile telecommunications system
WiMax	interopérabilité mondiale des accès d'hyperfréquences	worldwide interoperability for microwave access
PDF	fonction de densité de probabilité	probability density function
DAS	débit d'absorption spécifique	SAR, <i>specific absorption rate</i>
psSAR	DAS maximal moyenné	peak spatial-average SAR
STBC	code de bloc espace-temps	space-time block code

Abréviation	Français	Anglais
MIMO	entrées multiples, sorties multiples	multiple input multiple output
TEM	transverse électrique et magnétique	transverse electric and magnetic
FDTD	différences finies dans le domaine temporel	finite-difference time-domain

5 Spécifications du système de mesure

5.1 Exigences générales

Un système de mesure de DAS est composé du fantôme SAM (un modèle de tête humaine) rempli avec un liquide équivalent aux tissus, d'une instrumentation électronique de mesure, d'un système de balayage et d'un support de DUT.

Le DAS doit être mesuré en utilisant une sonde miniature qui est positionnée automatiquement pour mesurer la distribution interne du champ E dans le fantôme SAM représentant une tête humaine exposée aux champs électromagnétiques produits par le DUT. La tête du fantôme est remplie avec le liquide équivalent aux tissus exigé, représentant les propriétés électriques des tissus de la tête humaine. Ce liquide doit être de faible viscosité pour permettre le libre mouvement de la sonde dans le liquide. La distribution du DAS et la valeur du DAS maximal moyenné doivent être calculées à partir des valeurs du champ E mesurées.

Les essais doivent être effectués dans un laboratoire, conformément aux conditions d'environnement suivantes.

- La température ambiante et la température du liquide équivalent aux tissus doivent être dans la plage de 18 °C à 25 °C inclus; voir 7.2.6.6 pour déterminer l'incertitude de la température du liquide.
- Avant de mesurer les propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus et le DAS, le DUT, l'équipement d'essai, le liquide et le fantôme doivent avoir été conservés au laboratoire assez longtemps pour que leurs températures se soient stabilisées (c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas avoir été déplacés récemment depuis une autre zone à une température ambiante différente, telle qu'un réfrigérateur ou un espace de stockage).
- La température du liquide pendant les mesurages de DAS ne doit pas varier de plus de 2 °C (ou doit représenter une différence de température correspondant à une variation de 5 % dans ϵ' ou σ selon la valeur la plus faible) par rapport à celle à laquelle les propriétés diélectriques ont été mesurées. Si la variation de température dépasse cette valeur, les propriétés diélectriques doivent faire l'objet d'un nouveau mesurage. Voir 7.2.6.6 pour déterminer l'incertitude de sensibilité de la température du liquide.
- L'effet des réflexions des câbles, de l'équipement d'essai ou d'autres réflecteurs doit être déterminé par la procédure de *contrôle du système* DAS décrite à l'Article D.2, avec la présence ou non des réflecteurs ou, le cas échéant, avec le positionnement judicieux de matériaux absorbants et/ou l'utilisation de perles de ferrite sur les câbles.
- Les mesurages de DAS des dispositifs d'essai ne doivent être effectués que lorsque les effets des réflexions, des émetteurs RF secondaires, etc., donnent lieu à un DAS maximal moyenné (pour une masse de 1 g ou 10 g, suivant la valeur applicable à l'essai) inférieur à 0,012 W/kg en mesurant le DAS maximal moyenné à (environ) 0,4 W/kg (utilisé pour établir la limite de détection minimale de 3 %, voir 7.2.9). Lorsque l'effet des câbles et des réflecteurs est supérieur à 0,012 W/kg, des perles de ferrite, des absorbeurs RF et d'autres techniques d'atténuation doivent être appliqués pour réduire l'erreur de DAS. Si la limite précédente ne peut être atteinte, une valeur supérieure à 3 % (0,012 W/kg) doit être prise en compte dans le bilan d'incertitude dans la colonne "conditions ambiantes RF – réflexions" des tableaux applicables, à condition qu'il puisse être démontré que la contribution de DAS en raison des réflexions déterminées par la procédure de *contrôle du système* est inférieure à 10 % du DAS mesuré pour le dispositif d'essai. Les exigences liées aux réflexions doivent être vérifiées au moins chaque année ou chaque fois que le *contrôle du système* indique des résultats inattendus.

Au cours de l'essai, le DUT ne doit pas être connecté à un réseau sans fil quelconque, sauf à un simulateur de station de base dans le laboratoire.

La *validation d'un système* selon le protocole défini à l'Article D.3 doit être effectuée au moins une fois par an, et lors de la mise en exploitation d'un nouveau système ou lors de chaque modification du système, telle qu'une nouvelle version de logiciel, l'introduction d'un type ou une version différente de lecture électronique ou de sondes différentes. Les sources normalisées utilisées pour la *validation du système* doivent être conçues et validées pour satisfaire aux exigences spécifiées dans l'Annexe D. Des sources supplémentaires de types dipôles et guides d'ondes à des fréquences spécifiques ne figurant actuellement pas dans les Tableaux D.1, D.2, G.1 et G.2 peuvent être utilisées en tant que sources normalisées à condition qu'elles satisfassent aux exigences spécifiées au D.3.6 et à l'Annexe G.

Le système de mesure doit être validé comme un système complet. L'étalonnage de la sonde séparément du système est permis, sous réserve que les caractéristiques électriques d'interface entre la sonde et la lecture électronique soient spécifiées et mises en œuvre lors des mesurages. La ou les sondes doivent être étalonnées avec un amplificateur identique, un dispositif de mesure et un système d'acquisition de données. La sonde doit être étalonnée dans un liquide équivalent aux tissus aux fréquences et températures de fonctionnement appropriées, selon la méthode décrite à l'Annexe B.

La limite de détection minimale doit être inférieure ou égale à 0,01 W/kg, et la limite de détection maximale doit être supérieure à 100 W/kg. La sensibilité et l'isotropie de la sonde doivent être déterminées dans le liquide équivalent aux tissus. Le temps de réponse de la sonde doit être spécifié. Le diamètre extérieur de l'extrémité de la sonde ne doit pas dépasser 8 mm dans la zone des éléments de mesure pour des fréquences inférieures ou égales à 2 GHz. Pour les fréquences supérieures à 2 GHz, le diamètre de l'extrémité de la sonde ne doit pas dépasser $\lambda/3$, où λ est la longueur d'onde dans le liquide. Le diamètre de l'extrémité de la sonde peut être plus important s'il peut être démontré que les exigences spécifiques sont satisfaites.

Un diamètre plus grand de la sonde est acceptable s'il peut être démontré que le champ E de toute distribution de champ potentielle peut être mesuré avec une incertitude inférieure à $\pm 15\%$ ($k = 2$) aux distances de la surface du fantôme, comme indiqué dans le Tableau 1, ou aux distances recommandées par le fabricant du système dosimétrique (suivant la valeur la plus faible). La méthode de détermination de cette incertitude ne fait pas partie de la présente Norme et doit être développée par l'utilisateur. En l'absence d'une telle méthode de détermination de l'incertitude, cela peut ne pas être acceptable pour des autorités nationales.

Lorsque la présente Norme spécifie explicitement les caractéristiques de performances pour le système de mesure ou une partie du système de mesure, le fabricant du système ou de la partie, ou l'intégrateur de système doit documenter la conformité aux dispositions de la présente Norme.

5.2 Spécifications du fantôme (enveloppe et liquide)

La présente Norme fournit des procédures d'essai pour un fantôme SAM à bissection sagittale uniquement orienté horizontalement. Dans la configuration typique d'un fantôme à bissection sagittale, chaque moitié du modèle de tête est placée sur son côté, et le DUT est placé au-dessous. Les fantômes qui ne peuvent pas utiliser les procédures contenues dans le présent document ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme.

Le fantôme doit être rempli avec du liquide équivalent aux tissus de la tête et ayant les propriétés diélectriques exigées.

Pour réduire le plus possible les réflexions de la surface supérieure du liquide équivalent aux tissus, il convient que la profondeur du liquide soit d'au moins 15 cm, qui est approximativement la distance entre les oreilles d'une tête humaine donnée. Une profondeur de liquide de moins de 15 cm ne peut être utilisée que s'il est démontré (par exemple, en

utilisant des simulations numériques) que l'effet sur le DAS maximal moyenné est inférieur à 1 % dans les conditions les plus défavorables. S'il est supérieur à 1 % mais inférieur à 3 %, l'incertitude de la valeur la plus défavorable issue de la démonstration doit être ajoutée au bilan d'incertitude.

Les paramètres diélectriques doivent être évalués et comparés aux valeurs présentées dans le Tableau A.3 en utilisant une interpolation linéaire. Ce mesurage peut être effectué en utilisant l'équipement et les procédures décrits à l'Annexe J. Les propriétés diélectriques mesurées, et non les valeurs du Tableau A.3, doivent être utilisées pour les calculs du DAS.

NOTE Voir 6.2.1 pour les variations permises entre les paramètres diélectriques mesurés et ceux du Tableau A.3, comme défini pour les besoins de la présente Norme.

Au moins trois points de référence doivent être définis sur le fantôme par le fabricant du fantôme afin d'aligner le système de balayage avec le fantôme. Ces points doivent être visibles par l'utilisateur, incluant au moins 80 % de la face supérieure du fantôme et être espacés d'au moins 20 cm. Les spécifications pour le fantôme et le liquide simulant les tissus de la tête sont présentées dans l'Annexe A.

La justification du choix du modèle spécifique de fantôme de tête (c'est-à-dire, SAM) décrit dans la présente Norme est basée sur les critères suivants.

- a) Le DAS maximal moyenné doit être une estimation prudente de la valeur réelle attendue dans les têtes d'une grande majorité de personnes, indépendamment de l'âge, du sexe ou de l'appartenance ethnique, au cours de l'utilisation prévue de combinés sans fil.
- b) Les résultats d'essai ne doivent pas surestimer inutilement le DAS maximal prévu chez des utilisateurs réels.
- c) Le fantôme doit permettre un positionnement stable et répétable du dispositif pour les mesurages de DAS maximal moyenné et être efficace pour vérifier la répétabilité et la reproductibilité démontrées à l'aide de comparaisons interlaboratoires.
- d) Le fantôme doit être pratique pour l'évaluation de DAS en routine.
- e) Le fantôme doit prendre en charge ces critères pour les conceptions actuelles et futures de combinés et être neutre vis-à-vis d'une conception ou forme particulière de combiné.

Sur la base des données scientifiques, des ouvrages de référence et de l'expérience actuellement disponibles, la conception d'un fantôme qui satisfait aux critères ci-dessus, en particulier le point a), c'est-à-dire, la fourniture d'une estimation prudente du DAS réel, est une fonction des paramètres suivants au moins:

- 1) taille et forme de la tête de l'enveloppe du fantôme SAM;
- 2) paramètres diélectriques et homogénéité des liquides équivalents aux tissus et de l'enveloppe du fantôme;
- 3) taille, forme, emplacement et propriétés du matériau de pavillon de l'oreille;
- 4) exclusion de la main pour mesurer le DAS dans la tête (voir Annexe N).

5.3 Main et support de dispositif

Pendant un fonctionnement normal, la tête et la main sont dans le champ proche du DUT lorsqu'il est utilisé à côté de l'oreille et donc, absorbent toutes deux de l'énergie. Pour les extrémités telles que la main, une limite de DAS plus élevée est tolérée, c'est-à-dire, une valeur de 4 W/kg moyennée sur 10 g de tissu dans les lignes directrices ICNIRP pour l'exposition RF [64] et la Norme IEEE Std C95.1-2005 [65]. Des études numériques et expérimentales ont montré que le DAS dans la main aux niveaux de puissance utilisés par des combinés n'est pas censé dépasser ces limites (Francavilla et al. [43], Gandhi et al. [52], Jensen et Rahmat-Samii [69], [70], Kuster et al. [83], Watanabe et al. [149]). De plus, aucun fantôme pratique pour le mesurage de DAS dans la main n'est actuellement disponible. Par conséquent, le mesurage de DAS dans la main n'est pas traité dans la présente Norme.

L'influence d'une main tenant un combiné sur la tête pendant les mesurages de DAS a été examinée dans l'IEEE Std 1528-2013 [66]. Les travaux antérieurs de Balzano et al. [2] et Kuster et al. [83] ont indiqué que la présence de la main a diminué ou n'a pas eu d'effet significatif sur le DAS de la tête, bien que des résultats numériques de Meyer et al. en 2001 [105] ont mis en évidence un cas avec une augmentation de 7 % du DAS de la tête due à la main. Il a été conclu que ces écarts de DAS de la tête sont compatibles avec le niveau de prudence correspondant au fantôme SAM. Sur la base de ces études, l'exclusion de la main des procédures d'essai conduit à une surestimation du DAS de la tête dans la majorité des cas, comme le confirment des résultats récents de recherches [4], [5], [77] sur les niveaux de DAS de combinés. Pour ces raisons, les modèles de main ne sont pas pris en compte dans la présente Norme.

L'état des recherches dosimétriques sur l'effet de la main sur le DAS de la tête produit par des combinés est présenté dans l'Annexe N. Ces recherches démontrent qu'il existe des cas dans lesquels le DAS produit par des combinés dans le fantôme SAM peut augmenter et également diminuer significativement lorsque la main tient le combiné, du fait de conceptions de combinés, de bandes de fonctionnement et de prises de main spécifiques. Ces observations initiales ont montré que le fantôme SAM à lui seul peut toujours surestimer le DAS de la tête dans un certain nombre de cas statistiquement significatifs par rapport au moment où la main est présente pour le mesurage. Cependant, elles mériteraient des investigations complémentaires, ce qui pourrait entraîner des modifications futures dans cette pratique recommandée.

5.4 Exigences du système de balayage

Le système de balayage de la sonde de DAS doit pouvoir balayer les régions de mesure exigées du fantôme SAM qui se situent dans les projections d'un DUT afin d'évaluer la distribution tridimensionnelle du DAS. La tolérance du positionnement de l'extrémité de la sonde à un point de mesure doit être $\leq 0,2$ mm. La résolution du positionnement doit être ≤ 1 mm. L'exactitude du positionnement de la sonde du système de balayage exige de vérifier les points de référence du fantôme définis par le fabricant du fantôme.

5.5 Spécifications du support de dispositif

Le support de dispositif doit permettre de positionner le DUT conformément aux définitions données en 6.2.4. Il doit être fabriqué dans des matériaux à faible perte et à faible permittivité: tangente de perte $\leq 0,05$ et permittivité relative ≤ 5 .

Du fait du couplage du DUT avec le fantôme, il convient que le support de dispositif fournisse la quantité minimale de contacts avec le DUT pour réaliser une prise sûre et maintenir la position exigée pendant le mesurage. Il convient que le support de dispositif permette à l'opérateur de réaliser un positionnement reproductible du DUT. Dans les cas où un positionnement relatif par défaut ne peut être réalisé, du fait par exemple de l'interaction du support de dispositif avec des boutons et des capteurs sur le DUT, il convient d'appliquer les décalages de position minimale dans une direction prédéfinie pour obtenir la position d'essai exigée du DUT.

Les incertitudes de positionnement doivent être estimées en suivant les procédures décrites en 7.2.5.

Afin de vérifier que le support de dispositif ne perturbe pas le DAS, un essai de substitution doit être conduit en soutenant le combiné d'essai avec des blocs de mousse à faible perte et à faible permittivité relative, contre un fantôme plan (voir 7.2.5.2).

5.6 Caractéristiques de la lecture électronique

La sortie de la sonde est traitée par la lecture électronique et l'équipement de mesure associé qui combinent les tensions provenant des capteurs de la sonde pour fournir une sortie qui est proportionnelle à l'amplitude quadratique du champ E incident sur les capteurs. Des diodes de détecteur au niveau du point d'alimentation du dipôle sont utilisées pour corriger les

tensions des capteurs. Les signaux corrigés sont transmis par l'intermédiaire de lignes (RF transparentes) de résistance au système de lecture électronique. Pour un signal à onde entretenue à faibles niveaux d'intensité de champ, la sortie de la sonde est proportionnelle à l'amplitude quadratique du champ E incident; à des niveaux de signal plus élevés (au-dessus du point de compression de la diode), la sortie n'est pas linéairement proportionnelle à $|E|^2$, mais devient proportionnelle à $|E|$. Cette compression du signal donne lieu à une sous-estimation du DAS réel dans des conditions de haute intensité de champ si elle n'est pas compensée correctement par l'étalonnage de la sonde. De même les amplificateurs contenus dans la lecture électronique peuvent s'écarter d'une réponse linéaire idéale et créer une incertitude supplémentaire.

Pour les incertitudes associées à la lecture électronique de la sonde, voir 7.2.2.6.

6 Protocole pour l'évaluation du DAS

6.1 Généralités

Il convient d'effectuer tous les mesurages sur la base des bonnes pratiques de laboratoire, par exemple conformément à l'ISO/IEC 17025 ou à toute autre exigence locale ou nationale relative à la certification des dispositifs. La présente Norme ne contient pas d'informations nécessaires pour configurer les combinés sans fil pour des technologies sans fil spécifiques, y compris les réglages spécifiques tels que le mode de fonctionnement ou le débit de données pour assurer l'obtention du DAS maximal.

6.2 Préparation des mesurages

6.2.1 Préparation du liquide équivalent aux tissus et contrôle du système

Les propriétés diélectriques des liquides équivalents aux tissus doivent être mesurées dans les 24 h précédant les mesurages de DAS et tous les deux jours d'utilisation continue. Des mesurages diélectriques moins fréquents sont acceptables si le laboratoire peut prouver la conformité au Tableau A.3 et aux exigences en 5.2 en utilisant des intervalles de mesure allant jusqu'à une semaine au maximum. Si la série d'essais de combinés dure plus de 48 h, les paramètres du liquide doivent également être mesurés à la fin de la série d'essais de combinés.

Les liquides équivalents aux tissus doivent produire des valeurs mesurées de permittivité relative et de conductivité à $\pm 10\%$ des valeurs cibles aux fréquences auxquelles le DAS est mesuré, lorsque 7.2.7.2 est utilisé pour corriger le DAS mesuré pour les écarts de permittivité et de conductivité; autrement les valeurs de permittivité relative et de conductivité doivent être à $\pm 5\%$. Si la correction pour l'écart des paramètres diélectriques (voir 7.2.7) est appliquée, elle doit être à $\pm 10\%$.

Un *contrôle du système* selon les procédures de l'Annexe D doit être effectué dans les 24 h qui précèdent la réalisation des mesurages de DAS pour un DUT. L'objet du *contrôle du système* est de vérifier que le système fonctionne dans les limites de ses spécifications aux fréquences d'essai. Le *contrôle du système* consiste en un essai de répétabilité avec une source étalonnée pour vérifier que le système fonctionne correctement pendant l'essai de conformité. Le *contrôle du système* doit être effectué afin de détecter les dérives possibles sur une période courte et les autres incertitudes provenant du système, telles que:

- a) modifications inacceptables des paramètres du liquide, par exemple du fait de l'évaporation de l'eau ou de variations de température;
- b) défaillances de composant;
- c) dérives de composant;
- d) erreurs de l'opérateur dans le paramétrage du logiciel;
- e) conditions d'environnement défavorables pour le système, par exemple un brouillage radioélectrique.

La procédure de *contrôle du système* doit être effectuée sur le même système de mesure de DAS, avec la ou les mêmes sondes de DAS et le même liquide équivalent aux tissus que pour l'évaluation de DAS du dispositif pour chaque bande de fréquences soumise à l'essai.

6.2.2 Préparation du dispositif en essai (DUT) sans fil

Les antennes, batteries et accessoires doivent être ceux spécifiés par le fabricant et documentés dans le rapport de mesure. La charge de la batterie doit être complète avant chaque mesurage et la batterie doit être sans connexion ou câble externe.

Pour les technologies 3G/4G, la puissance de sortie RF et la fréquence (canal) doivent être commandées par une liaison sans fil à une station de base ou un simulateur de réseau. Pour les réseaux WLAN, Bluetooth, WiMax, etc., le logiciel d'essai et les codes d'essai internes sont généralement utilisés.

Si les essais sont effectués sur des prototypes, il doit être vérifié que la version commerciale a exactement les mêmes caractéristiques mécaniques et électriques que le prototype soumis à l'essai. Si cela ne peut être garanti, les essais doivent être répétés par échantillonnage sur les versions de produit commercial non modifiées.

Le DUT doit être réglé pour transmettre au plus haut niveau de puissance de sortie maximale moyenné pour des conditions d'utilisation à proximité de l'oreille. L'essai doit être effectué à un niveau de puissance maximale cohérent avec les spécifications finement établies et les variations de production. Le DAS mesuré doit être mis à l'échelle pour la puissance de sortie maximale moyennée la plus élevée admise pour les unités de produit. La mise à l'échelle doit être documentée dans le rapport d'essai. Les niveaux de puissance maximale moyennés du DUT doivent être vérifiés, par exemple, par des essais de puissance conduite avec une batterie totalement chargée pour prendre en charge la mise à l'échelle. Vérifier la possibilité de variations de DAS se produisant au cours du mesurage de DAS.

Pour certains signaux modulés de façon numérique de type bruit (voir 6.2.3.4), la puissance de sortie maximale moyennée peut varier dans différents modes de fonctionnement selon la largeur de bande du signal, le schéma de modulation, le rapport puissance de crête à puissance moyenne et le débit de données. Ces conditions exigent un choix minutieux des configurations de dispositif pour le mesurage de DAS. Lorsqu'un schéma de duplexage par répartition dans le temps (TDD) est utilisé, les signaux de liaison montante et de liaison descendante sont émis à la même fréquence, généralement dans des ordres aléatoires avec des facteurs de charge non périodiques. Il est important que ces facteurs soient pris en compte pour de telles technologies sans fil afin d'assurer que le DAS est correctement mesuré. Par exemple, la puissance de sortie de dispositifs IEEE Std 802.11 (Wi-Fi/WLAN) pendant un mesurage de DAS est généralement définie par un logiciel d'essai au niveau maximal pour la modulation et le débit de données correspondants. Le logiciel d'essai configure également le dispositif pour émettre avec un facteur de charge périodique fixe afin de permettre le mesurage correct du DAS. Il peut être nécessaire de mettre à l'échelle le DAS mesuré à un facteur de charge de transmission plus élevé correspondant à l'exposition maximale prévue pendant l'utilisation réelle. Pour les combinés avec la fonctionnalité Wi-Fi, la modulation de l'ordre le plus faible est généralement censée présenter le rapport puissance de crête à puissance moyenne le plus faible et présente généralement la puissance de sortie maximale moyenne la plus élevée. Par conséquent, le cas échéant, la modulation de l'ordre le plus faible doit être soumise à l'essai afin d'assurer le niveau de prudence et éviter les erreurs de mesure de DAS dues à des rapports élevés de puissance de crête à puissance moyenne. Des considérations supplémentaires relatives au mesurage et à l'étalonnage de la sonde peuvent être exigées pour les canaux IEEE Std 802.11ac à 160 MHz.

6.2.3 Modes de fonctionnement

6.2.3.1 Généralités

Les technologies sans fil utilisées par le DUT déterminent le mode de fonctionnement et le type de signaux (fréquence, schéma de modulation, puissance de sortie, etc.) utilisés pour les

essais de DAS. Tous les modes de fonctionnement applicables prévus pour l'utilisation du dispositif à proximité de l'oreille doivent être pris en considération pour les essais. Le paragraphe 6.7.2 fournit une procédure de réduction de l'essai pour les modes fonctionnant avec la même technologie et à la même bande de fréquences. Les caractéristiques de signal des modes de fonctionnement peuvent être décrites comme indiqué de 6.2.3.2 à 6.2.3.4. Pour les dispositifs qui ne fonctionnent pas avec un facteur de charge périodique, un logiciel ou équipement d'essai spécial est généralement exigé pour configurer le DUT pour émettre avec un facteur de charge périodique maximal avant de réaliser le mesurage de DAS.

6.2.3.2 Modes de fonctionnement à enveloppe constante (modulations analogiques)

Un DUT fonctionnant dans des modes dans lesquels l'enveloppe du signal dans le domaine temporel est constante, par exemple, des modes AMRF (accès multiple par répartition de fréquence), doit être soumis à l'essai avec un signal (porteuse) équivalent à CW en utilisant des codes d'essai ou un simulateur de station de base.

6.2.3.3 Modes de fonctionnement AMRT (enveloppe d'impulsion)

Un DUT fonctionnant en mode AMRT peut émettre de la parole et des données en utilisant des nombres d'intervalles différents. Suivant le débit de données, les modes de fonctionnement de données utilisant des modulations d'ordre supérieur peuvent fonctionner à une puissance de sortie réduite pour prendre en charge des rapports plus élevés de puissance de crête à puissance moyenne, par exemple, EDGE. Si des modes de fonctionnement de données sont opérationnels pendant des appels vocaux, par exemple dans certaines configurations de mode de fonctionnement de transfert bibande GSM/GPRS/EDGE, le nombre d'intervalles de temps et la puissance de sortie la plus élevée pour la parole et les données doivent être pris en compte dans la configuration des conditions d'émission simultanée pour l'essai de DAS à proximité de l'oreille.

S'il n'est pas possible de configurer le dispositif de façon à fonctionner à sa puissance de sortie maximale moyennée dans des conditions à intervalles de temps multiples pour la parole et/ou les données en raison de limitations de l'équipement d'essai, l'essai doit être conduit en mode de fonctionnement à intervalle de temps unique à condition que les résultats soient mis à l'échelle au nombre maximal d'intervalles qui peuvent être émis. Une différence de puissance de sortie maximale entre des conditions à intervalle unique et à intervalles multiples doit également être prise en compte dans la mise à l'échelle. Il doit être démontré que la mise à l'échelle de DAS est linéaire ou proche de la linéarité en fonction de la puissance de sortie et que la distribution de DAS relative est indépendante de la puissance de sortie. La relation entre le DAS et la puissance de sortie doit être documentée dans le rapport d'essai de DAS conformément à la procédure de mise à l'échelle décrite en 6.2.3.5.

6.2.3.4 Modes de fonctionnement numériques avec amplitude aléatoire et modulation de phase

Pour un DUT employé dans des modes de fonctionnement qui utilisent l'AMRC à spectre étalé, le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) ou d'autres schémas de modulation dans lesquels l'enveloppe du signal varie de façon aléatoire en fonction du temps, la puissance de sortie varie généralement en raison des variations des rapports puissance de crête à puissance moyenne dues au débit de données et d'autres paramètres et conditions de fonctionnement spécifiques à une technologie. Les essais doivent être réalisés avec un niveau de puissance de sortie maximale moyenné pris en charge par le DUT et, le cas échéant, avec un facteur de charge de transmission périodique fixe, par exemple des systèmes TDD. Dans certains cas, le DUT peut ne pas être en mesure de maintenir la puissance maximale moyenne pendant de longues durées en raison des exigences des rapports valeur de crête sur valeur moyenne et d'autres exigences de conception. Il doit être veillé à configurer l'émetteur pour fonctionner à un niveau de puissance de sortie moyenné acceptable toléré par le DUT et mettre à l'échelle le DAS mesuré au niveau de sortie moyenné le plus élevé exigé. Des informations sur AMRC IS-95, comprenant la compensation de linéarité de sonde, ont été publiées par Di Nallo et Faraone [25]. D'autres informations

pour AMRC à bande élargie, LTE, etc. ont été récemment communiquées par Nadakuduti et.al [116].

6.2.3.5 Procédure de mise à l'échelle du DAS pour les variations de puissance ou de signal

La mise à l'échelle du DAS est l'extrapolation du DAS d'un DUT déterminée avec un signal d'essai (mod_X) par rapport à un DAS du même dispositif, dans la même position d'essai d'exposition et le même canal de fréquences, avec un signal différent (mod_Y). La différence peut être dans le niveau de puissance, la modulation, ou les deux. Le rapport de puissance de sortie RF moyennée de mod_X et mod_Y doit être déterminé soit en mesurant la puissance moyenne pour les deux ou par l'intégration numérique de l'enveloppe de puissance si les signaux sont suffisamment connus. La mise à l'échelle du DAS est possible si les points suivants sont respectés.

- Le même étage d'amplificateur RF est utilisé pour mod_X et mod_Y .
- La même antenne est utilisée pour mod_X et mod_Y et aucune technique MIMO (entrées multiples et sorties multiples) ou autre technique de diversité d'antenne n'est appliquée.
- L'incertitude de réponse de la modulation de la sonde a été évaluée pour le signal modulé mod_X (voir 7.2.2.4) et le DAS a été déterminé pour mod_X .
- Le rapport de puissance de sortie RF moyennée (R_p) de mod_X et mod_Y après l'étage d'amplificateur RF est connu d'après la Formule 6:

$$R_p = \frac{P_{\text{max},\text{mod}_Y}}{P_{\text{mod}_X}} \quad (6)$$

où $P_{\text{max},\text{mod}_Y}$ correspond à la valeur de réglage de la puissance de sortie moyennée la plus élevée. Si les deux signaux différent en modulation, le signal d'essai est alors réglé à la puissance de sortie moyennée maximale: $P_{\text{mod}_X} = P_{\text{max},\text{mod}_X}$.

Le facteur R_p doit être déterminé par des moyens expérimentaux (par exemple, un mesurage en utilisant un wattmètre moyen).

- La fréquence porteuse RF de mod_X est la même que pour mod_Y .
- Le rapport de largeur de bande de signal RF (R_m) de mod_X et mod_Y satisfait à la Formule (7):

$$R_m = \left| \frac{BW_{\text{mod}_Y}}{BW_{\text{mod}_X}} - 1 \right| \times 100 \leq 30\% \quad (7)$$

- Les largeurs de bande de canal de mod_X et mod_Y sont chacune à 5 % de la fréquence porteuse.

Si les exigences mentionnées ci-dessus sont remplies, une mise à l'échelle du DAS de mod_X à mod_Y doit être effectuée conformément à la Formule (8) et l'incertitude de la mise à l'échelle spécifiée au 7.2.11:

$$DAS_{\text{mod}_Y} = R_p \cdot DAS_{\text{mod}_X} \quad (8)$$

Si l'approche du présent paragraphe est utilisée, il doit être indiqué dans le rapport de mesure que les points de a) à g) sont respectés.

Pour les combinés prenant en charge des modes push-to-talk (dispositifs munis d'un bouton poussoir pour parler) et utilisés à proximité de l'oreille, le facteur de charge maximal doit être estimé comme étant de 0,5 sur la base de 50 % de parole et de 50 % d'écoute.

6.2.4 Positionnement du DUT par rapport au fantôme

6.2.4.1 Généralités

La présente norme spécifie deux positions d'essai de combiné contre le fantôme de tête – la position "joue" et la position "inclinée". Ces deux positions d'essai sont définies en 6.2.4.2 et 6.2.4.3, respectivement. Le DUT doit être soumis à l'essai dans ces deux positions sur les côtés gauche et droit du fantôme SAM. Dans certains cas (par exemple, combinés asymétriques), les procédures de positionnement de DUT représentant des conditions d'utilisation prévue (voir 6.2.4.2 et 6.2.4.3) ne peuvent pas être utilisées. Dans ce cas, d'autres procédures d'alignement doivent être adaptées avec tous les détails fournis dans le rapport d'essai. Ces autres procédures doivent refléter les conditions d'utilisation prévue aussi fidèlement que possible, conformément au contexte des procédures décrites en 6.2.4.2 and 6.2.4.3.

Pour les autres facteurs de forme associés aux dispositifs installés sur la tête (utilisés sur l'oreille mais ne pénétrant pas dans le pavillon ou le canal auditif), les positions et orientations utilisées pour l'évaluation doivent être aussi proches que possible de celles définies pour les combinés en 6.2.4.2 et 6.2.4.3. L'orientation relative à l'utilisation prévue doit également être donnée. Voir également 6.2.4.6.

Lorsque le dispositif installé sur la tête contient une sortie acoustique et une entrée acoustique, celles-ci doivent être alignées par rapport aux points de référence ERP et M, respectivement.

Toutes les informations appropriées sur les positions d'essai réelles utilisées doivent être documentées dans le rapport d'essai.

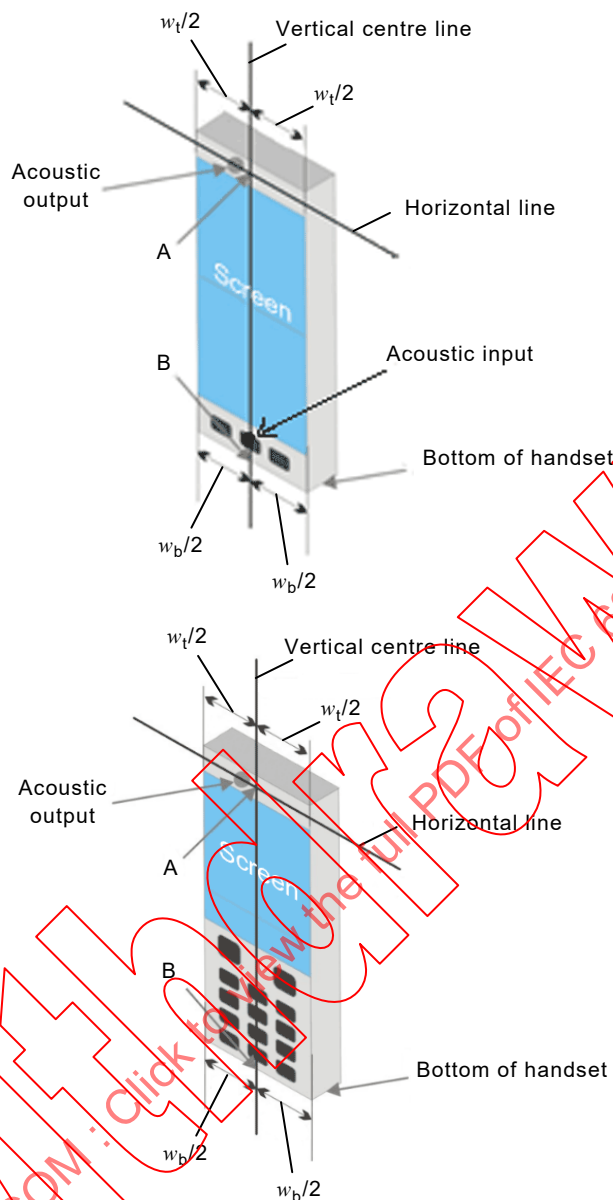
6.2.4.2 Définition de la position "joue"

La position "joue" est établie comme décrit dans les points a) à i) ci-dessous:

- a) Si nécessaire, configurer le DUT en mode "conversation". Par exemple, pour un DUT avec un capot pliable, pivotant ou coulissant, ouvrir le capot si celui-ci est compatible avec le mode "conversation". Si le DUT peut également être utilisé avec le capot en position fermée, les deux configurations doivent être soumises à l'essai.
- b) Définir deux lignes imaginaires sur le DUT, la ligne centrale verticale et la ligne horizontale, le DUT étant en orientation verticale comme représenté sur la Figure 1. La ligne centrale verticale passe par deux points sur la face avant du DUT: le point central de la largeur w_c du combiné au niveau de la sortie acoustique (Point A sur la Figure 1), et le point central de la largeur w_b en bas du combiné (Point B). La ligne horizontale est perpendiculaire à la ligne centrale verticale et passe par le centre de la sortie acoustique (voir la Figure 1). L'intersection des deux lignes est au Point A. Noter que pour beaucoup de combinés, le Point A coïncide avec le centre de la sortie acoustique. Cependant la sortie acoustique peut être située n'importe où sur la ligne horizontale. Noter également que la ligne centrale verticale n'est pas nécessairement parallèle à la face avant du DUT, en particulier pour les combinés en forme de coquille, les combinés pliables et autres combinés de forme irrégulière.
- c) Placer le DUT à proximité de la surface du fantôme de telle sorte que le Point A soit en prolongement (virtuel) de la droite passant par les Points RE (oreille droite) et LE (oreille gauche) sur le fantôme (voir la Figure 2a et la Figure 2b). Le plan défini par la ligne centrale verticale et la ligne horizontale du DUT doit être parallèle au plan sagittal du fantôme.
- d) Déplacer le DUT vers le fantôme le long de la droite passant par RE et LE jusqu'à ce que le combiné touche l'oreille (voir la Figure 2c).
- e) Faire tourner le DUT autour de la ligne (virtuelle) LE-RE jusqu'à ce que la ligne centrale verticale du DUT soit dans le plan de référence (voir la Figure 2d).
- f) Faire tourner le DUT autour de sa ligne centrale verticale jusqu'à ce que le plan défini par la ligne centrale verticale du DUT et la ligne horizontale soit parallèle à la ligne N-F, puis

déplacer le DUT vers le fantôme le long de la ligne LE-RE jusqu'à ce que le Point A du DUT touche l'oreille à l'ERP (point de référence de l'oreille) (voir la Figure 2e).

- g) Tout en maintenant le Point A sur la ligne centrale verticale passant par RE et LE et en maintenant le DUT en contact avec le pavillon, faire tourner le combiné autour de la ligne N-F jusqu'à ce qu'un point du DUT soit en contact avec le fantôme, sous le pavillon (joue) (voir la Figure 2f). Les angles de rotation doivent être notés.
- h) Tout en maintenant le Point A du DUT en contact avec l'ERP, faire tourner le combiné autour de la ligne perpendiculaire au plan défini par la ligne centrale verticale du DUT et la ligne horizontale passant par le Point A du DUT, jusqu'à ce que la ligne centrale verticale du DUT soit dans le plan de référence (voir la Figure 2g).
- i) Vérifier que la position "joue" est correcte, conformément à la description faite ci-dessous:
- la ligne N-F est dans le plan défini par la ligne centrale verticale du DUT et la ligne horizontale;
 - le Point A du DUT touche le pavillon à l'ERP;
 - la ligne centrale verticale du DUT est dans le plan de référence.



IEC

Anglais	Français
Vertical centre line	Ligne centrale verticale
Acoustic output	Sortie acoustique
Horizontal line	Ligne horizontale
Screen	Écran
Acoustic input	Entrée acoustique
Bottom of handset	Base du combiné

Légende

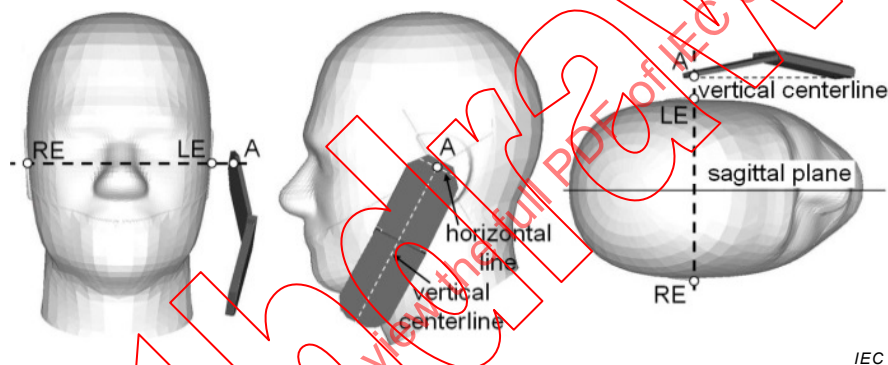
- w_t Largeur du combiné au niveau de la sortie acoustique
- w_b Largeur à la base du combiné
- A Point central de la largeur w_t du combiné au niveau de la sortie acoustique
- B Point central de la largeur w_b à la base du combiné

Figure 1 – Lignes de référence verticale et horizontale et Points de référence A, B sur deux exemples types de dispositifs: un smart phone avec écran tactile complet (en haut) et un combiné à clavier (en bas)



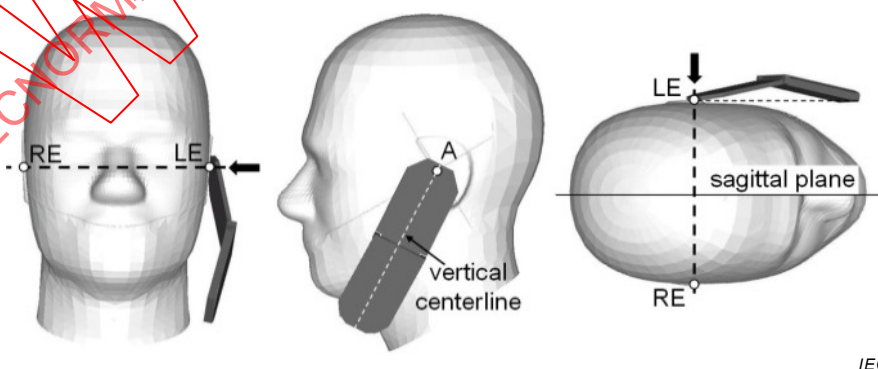
NOTE Les points de référence pour l'oreille droite (RE), l'oreille gauche (LE) et la bouche (M), qui définissent le plan de référence pour le positionnement de combiné, sont indiqués. Cette position de dispositif doit être maintenue pour la configuration d'essai sagittale de fantôme représentée à la Figure A.4.

Figure 2a – Position de téléphone 1 – position joue



Anglais	Français
Horizontal line	Ligne horizontale
Vertical centerline	Ligne centrale verticale
Sagittal plane	Plan sagittal

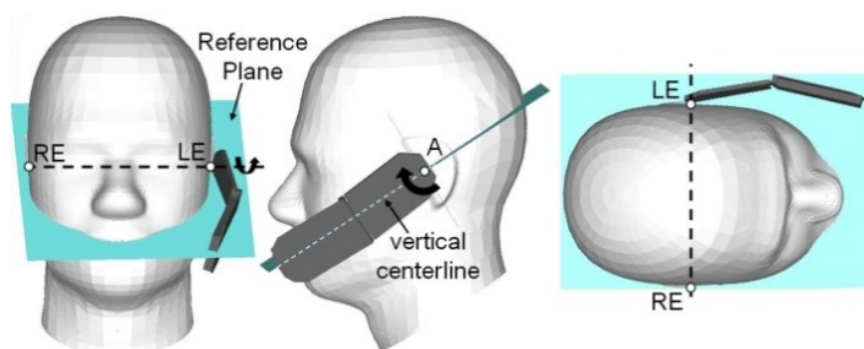
Figure 2b – Position de DUT possible contre la tête après l'Étape c)



Anglais	Français
Vertical centerline	Ligne centrale verticale
Sagittal plane	Plan sagittal

NOTE Les flèches noires indiquent la direction de déplacement du DUT pour l'Étape d).

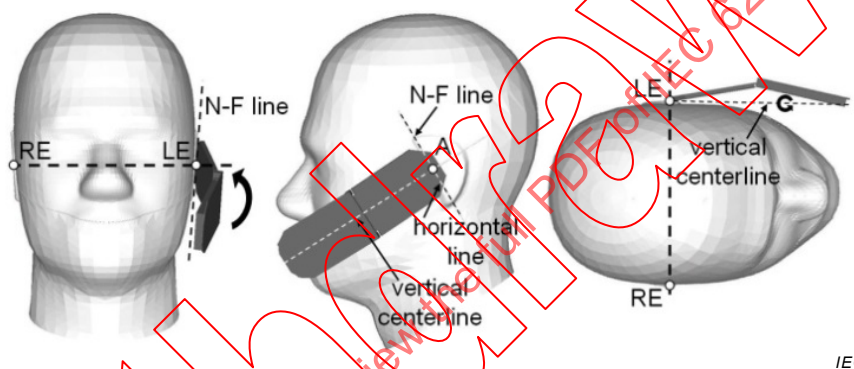
Figure 2c – Position du combiné de la Figure 2b après application de l'Étape d)



Anglais	Français
Reference plane	Plan de référence
Vertical center line	Ligne centrale verticale

NOTE Les flèches noires courbées indiquent la direction de rotation du DUT pour l'Étape e).

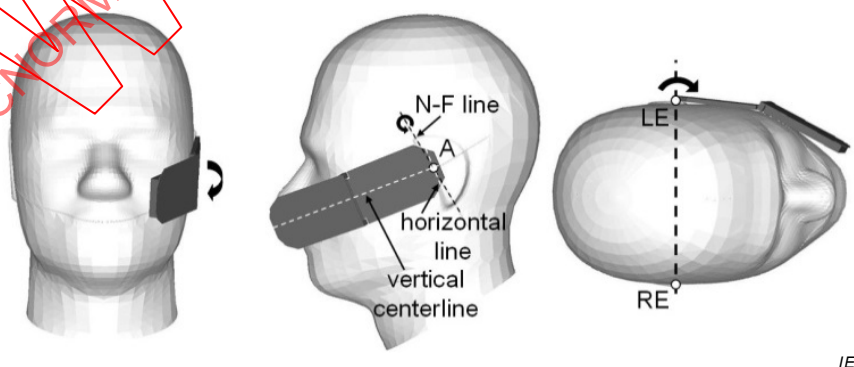
Figure 2d – Position du combiné de la Figure 2c après application de l'Étape e)



Anglais	Français
N-F line	Ligne N-F
Horizontal line	Ligne horizontale
Vertical centerline	Ligne centrale verticale

NOTE Les flèches noires courbées indiquent la direction de rotation du DUT pour l'Étape f).

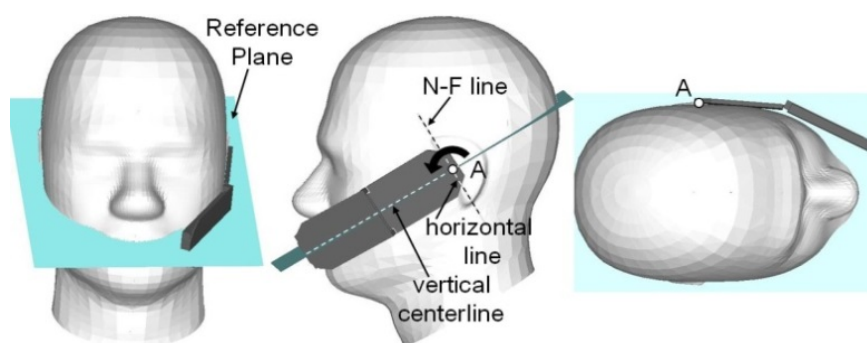
Figure 2e – Position du combiné de la Figure 2d après application de l'Étape f)



Anglais	Français
N-F line	Ligne N-F
Horizontal line	Ligne horizontale
Vertical center line	Ligne centrale verticale

NOTE Les flèches noires courbées indiquent la direction de rotation du DUT pour l'Étape g)

Figure 2f – Position du combiné de la Figure 2e après application de l'Étape g)



IEC

Anglais	Français
Reference plane	Plan de référence
N-F line	Ligne N-F
Horizontal line	Ligne horizontale
Vertical centerline	Ligne centrale verticale

NOTE Les flèches noires courbées indiquent la direction de rotation du DUT pour l'Étape h).

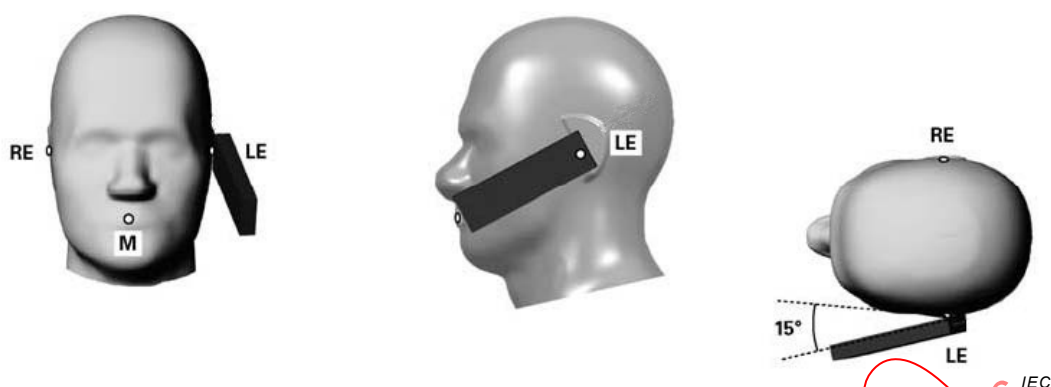
Figure 2g – Position du combiné de la Figure 2f après application de l'Étape h)

Figure 2 – Position "joue" du dispositif sans fil sur le côté gauche du SAM dans laquelle le dispositif doit être maintenu pour la configuration d'essai du fantôme

6.2.4.3 Définition de la position "inclinée"

La position inclinée est établie comme défini aux points a) à d) ci-dessous.

- Répéter les Étapes a) à i) en 6.2.4.2 pour placer le DUT dans la position "joue" (voir la Figure 2).
- Tout en maintenant l'orientation du DUT, éloigner le DUT du pavillon le long de la ligne passant par RE et LE suffisamment loin pour permettre une rotation du combiné loin de la joue de 15°.
- Faire tourner le DUT de 15° autour de la ligne horizontale (voir la Figure 3).
- Tout en maintenant l'orientation du DUT, déplacer celui-ci vers le fantôme sur une ligne passant par RE et LE jusqu'à ce qu'une partie du DUT touche l'oreille. La position inclinée est atteinte lorsque le contact avec le pavillon est réalisé. Si le contact a lieu ailleurs qu'avec le pavillon, par exemple contact de l'antenne déployée avec l'arrière de la tête du fantôme, l'angle du DUT doit être réduit. Dans ce cas, la position inclinée est obtenue si une partie du DUT est en contact avec le pavillon, de même si une autre partie du DUT est en contact avec le fantôme, par exemple l'antenne avec l'arrière de la tête.



Légende

M Point de référence de la bouche

LE Point de référence de l'oreille gauche

RE Point de référence de l'oreille droite

Cette position du dispositif doit être maintenue pendant les réglages d'essai du fantôme.

Figure 3 – Position inclinée du dispositif sans fil sur le côté gauche du SAM

6.2.4.4 Antenne

Pour les dispositifs qui utilisent une ou plusieurs antennes externes avec des positions variables (par exemple, antenne déployée, rétractée, tournée), ceux-ci doivent être positionnés conformément aux instructions d'utilisation fournies par le fabricant. Si aucune position d'antenne prévue n'est spécifiée, les essais doivent être réalisés avec l'antenne(s) orientée(s) de manière à obtenir les conditions d'exposition maximale tout en maintenant le dispositif dans les positions "joue" et "incliné" de 6.2.4.2 et 6.2.4.3. Pour les antennes qui peuvent être déployées, l'essai doit être effectué avec l'antenne totalement déployée et totalement rétractée. Les configurations d'antenne doivent être documentées dans le rapport de mesure. Les antennes à diversité d'émission sont soumises à l'essai séparément pour le DAS.

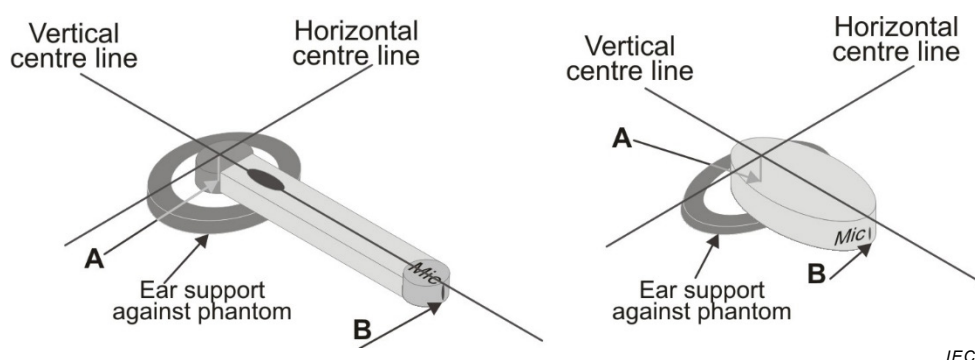
6.2.4.5 Options et accessoires fournis par le fabricant du DUT

D'autres accessoires qui peuvent affecter la puissance de sortie RF ou la distribution de courant RF du DUT lorsqu'il est utilisé à côté de l'oreille doivent être soumis à l'essai conformément aux conditions d'utilisation prévue spécifiées par le fabricant. Par exemple (a) antennes facultatives, (b) blocs de batteries facultatifs qui modifient les performances ou le DAS du combiné, etc., et (c) fils connectés pendant l'utilisation prévue. La communication en champ proche ou les options de chargement sans fil n'exigent en général aucun mesurage de DAS. Il peut toutefois être nécessaire de prendre en compte leur influence vis-à-vis du DAS d'autres émetteurs.

6.2.4.6 DUT à facteur de forme différent

Pour les besoins de la présente Norme, le DUT est considéré comme un facteur de forme (rectangulaire, cubique) de type "barre classique". Toutefois, les principes de base définis et spécifiés ici peuvent être appliqués à d'autres facteurs de forme pour d'autres dispositifs couverts par le domaine d'application de la présente Norme.

Un dispositif de ce type est un casque sans fil (par exemple relié par Bluetooth) qui peut être évalué de la même manière que tout autre DUT de la présente Norme en effectuant une mise en correspondance similaire de la géométrie et des coordonnées de ce dispositif à la définition du DUT fournie à la Figure 4.



Anglais	Français
Vertical centre line	Ligne centrale verticale
Horizontal centre line	Ligne centrale horizontale
Ear support against phantom	Support de l'oreille contre le fantôme

Figure 4 – DUT à facteur de forme différent et application de coordonnées normalisées et de points de référence

Les fonctions de base de tout dispositif qui facilitent la mise en correspondance avec la géométrie et le système de coordonnées utilisés dans la présente Norme comprennent l'identification d'un point de sortie acoustique qui est défini comme point A au niveau du point central de la largeur du dispositif et un point B qui est au niveau de la base du dispositif, où l'emplacement du microphone primaire est à l'extrémité la plus proche de la bouche.

D'autres considérations dont il doit être tenu compte ici sont les modes de fonctionnement disponibles dans un tel dispositif et les niveaux de puissance de fonctionnement maximum qui s'appliquent.

Tous les détails relatifs aux DUT à facteur de forme différent doivent être entièrement documentés dans le rapport de mesure, y compris des diagrammes ou des photographies qui faciliteraient la description. Des principes techniques appropriés doivent être appliqués pour mettre en œuvre la mise en correspondance d'un dispositif à facteur de forme différent.

6.2.5 Fréquences d'essai pour le DUT

Un DUT doit être conforme aux normes d'exposition applicables à toutes les fréquences d'émission. Cependant, la conduite des essais pour tous les canaux n'est ni réalisable ni nécessaire. L'objet de 6.2.5 est de définir un sous-ensemble utilisable de canaux pour lesquels les mesurages de DAS doivent être effectués. Ce sous-ensemble de canaux est choisi de façon à pouvoir caractériser un DUT avec toute norme d'exposition applicable.

NOTE Dans certains cas de technologie Wi-Fi et d'autres systèmes à bande large tels que WiMAX, la puissance de sortie maximale d'un canal peut varier sur la bande de fréquences. Les canaux d'essai exigés peuvent ne pas inclure le canal avec la plus grande puissance de transmission RF. Par exemple pour les technologies Wi-Fi, les canaux fonctionnant à la limite de la bande peuvent produire une puissance plus faible afin de se conformer aux limites spécifiques hors bande; il peut donc être nécessaire d'effectuer les essais sur le canal adjacent au canal de la limite de la bande. Pour les autres dispositifs, la puissance de sortie maximale de plusieurs canaux peut être optimisée différemment. Par conséquent, avant la réalisation des essais à l'aide des canaux spécifiques exigés par la présente norme, il est nécessaire de vérifier la puissance de sortie maximale des canaux pour déterminer si les canaux choisis produisent effectivement la plus forte puissance de sortie assignée du dispositif. Le processus utilisé pour établir les canaux pour des fins d'essai doit être documenté dans le rapport d'essai.

Pour chaque mode de fonctionnement d'une technologie sans fil utilisée par le DUT, les essais doivent être effectués avec le canal le plus proche de la valeur centrale de chaque bande de fréquences d'émission. Si la largeur de la bande de fréquences transmise ($\Delta f = f_{\text{haut}} - f_{\text{bas}}$) dépasse 1 % de sa fréquence centrale f_c , les canaux aux fréquences la plus basse et la plus élevée de la bande d'émission doivent également être soumis à l'essai. De

plus, si la largeur de la bande d'émission dépasse 10 % de sa fréquence centrale, la Formule (9) suivante doit être appliquée pour déterminer le nombre de canaux N_c à soumettre à l'essai:

$$N_c = 2 \times \text{roundup}[10 \times (f_{\text{haut}} - f_{\text{bas}})/f_c] + 1 \quad (9)$$

où

f_c est le canal de la fréquence centrale de la bande d'émission en Hz;

f_{haut} est le canal de la plus haute fréquence de la bande d'émission en Hz;

f_{bas} est le canal de la plus basse fréquence de la bande d'émission en Hz;

N_c est le nombre de canaux.

La fonction roundup(x) arrondit son argument x à l'entier supérieur. Par conséquent, le nombre de canaux, N_c , est toujours un nombre impair. Les canaux soumis à l'essai doivent être répartis de façon aussi homogène que possible en fréquence et doivent comprendre les canaux aux fréquences la plus élevée et la plus faible. Les étalonnages de sonde doivent être valides pour toutes les fréquences d'essai et les paramètres diélectriques de liquide à ces fréquences. Des bandes d'émission sensiblement grandes peuvent exiger des points d'étalonnage de sonde multiples et différents liquides équivalents aux tissus pour couvrir la bande de fréquences entière.

NOTE 1 Les organismes de réglementation peuvent avoir différentes exigences sur le nombre de canaux à soumettre à l'essai par bande d'émission, en fonction des allocations de fréquence et d'autres exigences des technologies sans fil.

NOTE 2 Si la fréquence d'essai générant la puissance de sortie la plus élevée ne correspond pas au canal central, les exigences d'essai peuvent varier parmi différentes autorités nationales de réglementation.

6.3 Essais à effectuer

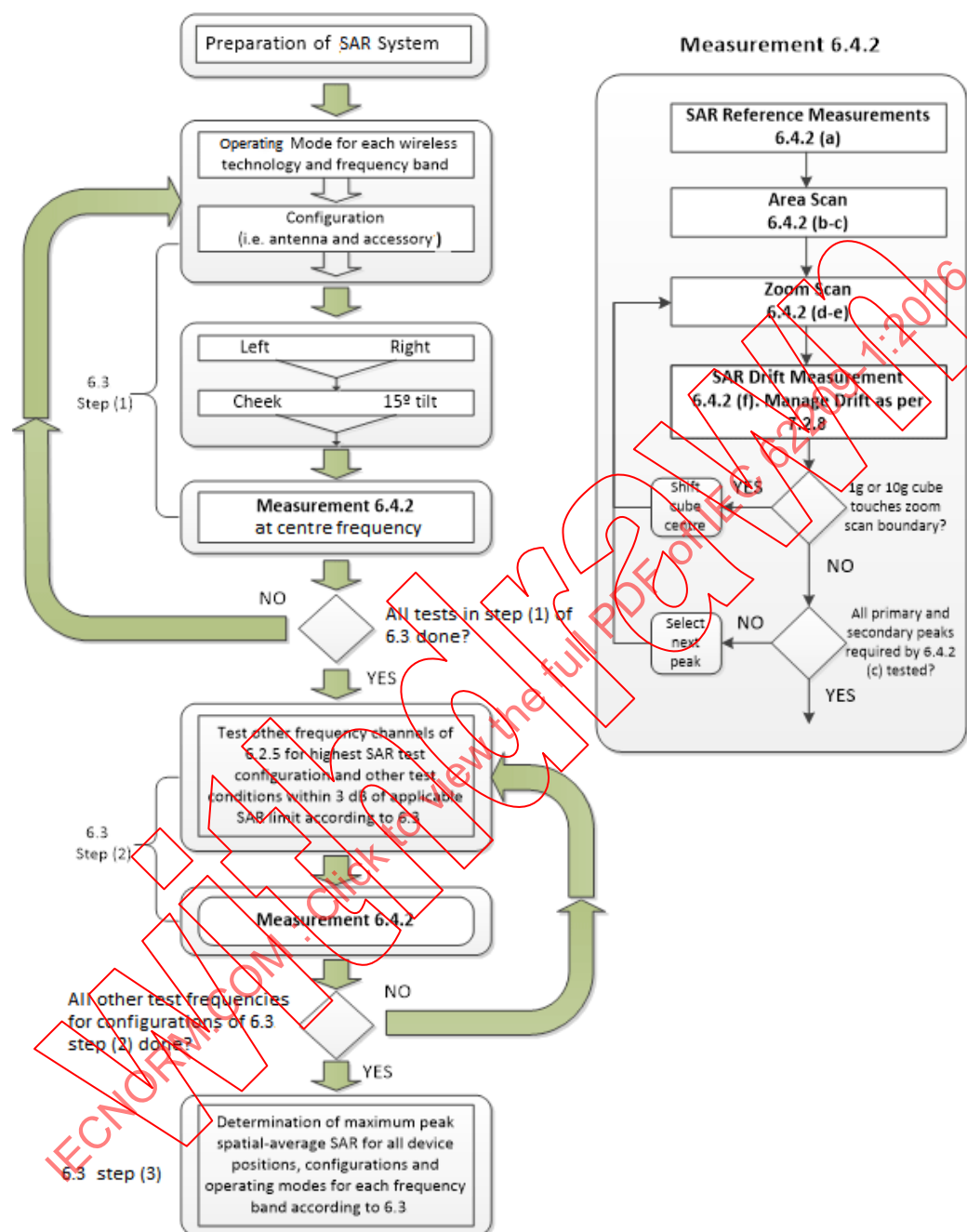
Afin de déterminer la valeur la plus élevée du DAS maximal moyenné d'un combiné, l'ensemble des positions, configurations et modes de fonctionnement exigés du dispositif doivent être soumis à l'essai pour chaque bande de fréquences conformément aux Étapes 1 à 3 ci-dessous. Pour les dispositifs capables d'émission simultanée, appliquer la procédure appropriée décrite en 6.4.3. Un organigramme de la procédure d'essai est représenté à la Figure 5.

Étape 1: La procédure de mesure décrite en 6.4.2 doit être appliquée au canal le plus proche du centre de la bande de fréquences d'émission (f_c) pour chaque antenne d'émission utilisée:

- toutes les positions d'essai du dispositif (joue et inclinée, pour les deux côtés du fantôme SAM, comme décrit en 6.2.4);
- toutes les configurations d'utilisation pour chaque position de dispositif dans a), par exemple, avec la glissière ou le couvercle du dispositif ouvert et fermé ou l'antenne déployée et rétractée;
- tous les modes de fonctionnement, par exemple la modulation analogique et numérique pour chaque position du dispositif en a) et chaque configuration en b) pour chaque bande de fréquences.

Étape 2: Pour les conditions donnant le DAS maximal moyenné le plus élevé déterminé à l'Étape 1 pour chaque configuration en a), b) et c), effectuer tous les essais décrits en 6.4.2 à tous les autres canaux de fréquences d'essai, par exemple, les canaux le plus bas et le plus haut (voir 6.2.5). De plus, pour chaque position, configuration et mode de fonctionnement du dispositif dans lesquels la valeur du DAS maximal moyenné déterminée aux Étapes 1 a), b) et c) est supérieure ou égale à la moitié de la limite applicable du DAS, il est exigé de soumettre à l'essai tous les canaux exigés. Dans le cas contraire, une telle exigence n'est pas applicable.

Étape 3: Examiner toutes les données et déterminer les exigences de rapport pour la valeur la plus élevée du DAS maximal moyenné mesurée à l'Étape 1 et à l'Étape 2. Un exemple est donné à l'Annexe M.



IEC

Anglais	Français
Preparation of SAR system	Préparation du système de DAS
Operating mode for each wireless technology and frequency band	Mode de fonctionnement pour chaque technologie sans fil et bande de fréquences
Configuration (i.e. antenna and accessory)	Configuration (c'est-à-dire, antenne et accessoire)
Left	Gauche
Right	Droite

Anglais	Français
Cheek	Joue
15° tilt	Inclinaison à 15°
Measurement 6.4.2 at center frequency	Mesurage 6.4.2 à la fréquence centrale
Step	Étape
NO	NON
YES	OUI
All tests in step (1) of 6.3.1 done?	Tous les essais de l'étape (1) du 6.3.1 effectués?
Test other frequency channels of 6.2.5 for highest SAR test configuration and other test conditions within 3 dB of applicable SAR limit according to 6.3.1	Réaliser l'essai à d'autres canaux de fréquences de 6.2.5 pour la configuration d'essai du DAS le plus élevé et d'autres conditions d'essai à 3 dB au plus de la limite applicable de DAS selon 6.3.1
Measurement 6.4.2	Mesurage 6.4.2
All other test frequencies for configurations of 6.3.1 step (2) done?	Toutes les autres fréquences d'essai pour les configurations de 6.3.1, étape (2) évaluées ?
Determination of maximum peak spatial-average SAR for all device positions, configurations and operating modes for each frequency band according to 6.3.1	Détermination du DAS maximal moyenné le plus élevé pour toutes les positions, configurations et modes de fonctionnement du dispositif pour chaque bande de fréquences selon 6.3.1
SAR reference measurements 6.4.2	Mesurages de référence de DAS 6.4.2
Area scan 6.4.2 (b-c)	Balayage de surface 6.4.2 (b-c)
Zoom scan 6.4.2 (d-e)	Balayage-zoom 6.4.2 (d-e)
SAR drift measurement 6.4.2 (f). Manage drift as per 7.2.8	Mesurage de dérive de DAS 6.4.2 (f). Gérer la dérive selon 7.2.8
Shift cube center	Déplacer le centre du cube
1g or 10g cube touches zoom scan boundary?	Le cube de 1 g ou 10 g touche-t-il la limite du balayage-zoom?
Select next peak	Sélectionner maximum suivant
All primary and secondary peaks required by 6.4.2 (c) tested?	Tous les maxima primaires et secondaires exigés par 6.4.2 (c) soumis à l'essai ?

Figure 5 – Schéma de principe des essais à effectuer

6.4 Procédure de mesure

6.4.1 Généralités

Le paragraphe 6.4 décrit la procédure d'évaluation du DAS maximal moyenné du DUT, y compris le nombre minimum de mesurages de dérive à effectuer. Si la dérive est élevée pour un mode de fonctionnement et un canal de fréquences particuliers, davantage de mesurages de dérive peuvent être nécessaires, comme décrit en 7.2.8.

6.4.2 Procédure générale

La procédure suivante doit être effectuée pour chaque condition d'essai (voir la Figure 5) décrite en 6.3. Le Tableau 1 présente les paramètres de mesure utilisés dans le balayage de surface et le Tableau 2 ceux utilisés pour le balayage-zoom.

- Mesurer le DAS local à un point d'essai situé à 10 mm de la surface interne du fantôme où le DAS local mesuré dépasse la limite de détection inférieure du système de mesure. De préférence, le point d'essai est au-dessus de l'emplacement de DAS maximal prévu dans ladite limite de distance de la surface du fantôme. Comme décrit à l'Étape f) ci-dessous, un mesurage comparatif est effectué par le système au même point une fois que le mesurage de DAS est terminé.
- La zone sur laquelle le mesurage de DAS est effectué doit couvrir au moins une zone plus grande que la projection du combiné et de l'antenne. Pour certains combinés, la zone

projetée sur le fantôme peut être si grande que la sonde peut ne pas atteindre tous les points. Dans ce cas, les fantômes peuvent être tournés et la zone peut être évaluée au moyen de balayages multiples avec des zones de chevauchement. Mesurer la distribution bidimensionnelle du DAS dans le fantôme (procédure de balayage de surface). La limite de la zone de mesure doit être établie en fonction des exigences du fantôme SAM. La résolution de mesure et la résolution spatiale pour l'interpolation doivent être choisies pour permettre l'identification des emplacements du maximum local à la moitié de la dimension linéaire du côté correspondant du volume de balayage-zoom. L'espacement maximal de grille doit être de 20 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et $(60/f \text{ [GHz]})$ mm pour les fréquences supérieures à 3 GHz. L'incertitude de DAS de résolution du mesurage peut être évaluée à l'aide des fonctions présentées en 7.2.10. La distance maximale entre le centre géométrique des détecteurs de sonde et la surface interne du fantôme doit être ≤ 5 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et $\delta \ln(2)/2$ mm pour les fréquences supérieures à 3 GHz, où δ est la profondeur de pénétration d'onde plane et $\ln(x)$ est le logarithme naturel [80]. La variation maximale de la distance capteur-surface du fantôme doit être ± 1 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et $\pm 0,5$ mm pour les fréquences supérieures à 3 GHz. À tous les points de mesure, l'angle de la sonde par rapport à la droite perpendiculaire à la surface doit être inférieur à 30° pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et 20° pour les fréquences supérieures à 3 GHz (voir la Figure 6). Le Tableau 1 présente les paramètres de mesure exigés pour la zone de balayage.

- c) À partir de la distribution de DAS balayée, identifier la position de la valeur maximale de DAS et identifier également les positions de tous les maxima locaux éventuels avec des valeurs de DAS à 2 dB au plus de la valeur maximale qui ne sont pas dans le balayage-zoom d'autres pics. Les maxima supplémentaires doivent être mesurés uniquement si le pic principal est au plus à 2 dB de la limite de conformité de DAS (par exemple, 1 W/kg pour 1,6 W/kg, limite 1 g; ou 1,26 W/kg pour 2 W/kg, limite 10 g).
- d) Mesurer la distribution tridimensionnelle de DAS aux emplacements des maxima locaux identifiés à l'Étape c) (procédure de balayage-zoom). Le pas de grille horizontal doit être $(24/f \text{ [GHz]})$ mm ou moins mais, pas plus de 8 mm. La taille minimale de balayage-zoom est de 30 mm par 30 mm par 30 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz. Pour les fréquences plus élevées, la taille minimale de balayage-zoom peut être réduite à 22 mm par 22 mm par 22 mm. Un volume de balayage-zoom plus petit avec un espacement plus serré entre les points de mesure est permis, du fait de la décroissance plus forte du champ E, qui peut réduire le temps de mesure. Pour les fréquences supérieures à 3 GHz, le pas de grille dans la direction verticale ne doit pas dépasser $(8 - f \text{ [GHz]})$ mm, et pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz, le pas de grille ne doit pas dépasser 5 mm si un espacement uniforme est utilisé. Si un espacement variable est utilisé dans la direction verticale (grilles non uniformes ou grilles graduées), l'espacement maximal entre les deux points mesurés les plus proches de l'enveloppe du fantôme ne doit pas dépasser $(12/f \text{ [GHz]})$ mm pour les fréquences supérieures à 3 GHz, et ne doit pas dépasser 4 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz. De plus, l'espacement entre des points adjacents plus éloignés doit augmenter d'un facteur incrémentiel ne dépassant pas 1,5. Lorsque des grilles graduées sont utilisées, des routines d'extrapolation doivent être soumises à l'essai selon 7.2.10.3.2 avec le même espacement que celui utilisé pour les mesurages. La distance maximale entre le centre géométrique des détecteurs de sonde et la surface interne du fantôme doit être de 5 mm pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et $\delta \ln(2)/2$ mm pour les fréquences supérieures à 3 GHz, où δ est la profondeur de pénétration d'onde plane et $\ln(x)$ est le logarithme naturel. Des grilles séparées doivent être centrées sur chaque maximum local de DAS observé à l'Étape c). À tous les points de mesure, l'angle de la sonde par rapport à la droite perpendiculaire à la surface doit être inférieur à 30° pour les fréquences inférieures ou égales à 3 GHz et 20° pour les fréquences supérieures à 3 GHz.
- e) Utiliser les procédures post-traitement, c'est-à-dire les procédures d'interpolation et d'extrapolation définies en 6.5, pour déterminer les valeurs de DAS maximal moyenné.
- f) Mesurer le DAS local exactement au même emplacement du point d'essai qu'à l'Étape a). La dérive de DAS du DUT peut être estimée par la différence entre les deux valeurs de DAS au point unique mesurées aux Étapes a) et f). La dérive de DAS doit être maintenue

à $\pm 5\%$; sinon, voir 7.2.8 pour de plus amples informations sur le traitement de la dérive de mesure de DAS.

Il convient que les combinés commercialisés aient des dérives de puissance de sortie de $\pm 5\%$. Certains dispositifs peuvent avoir des fluctuations significatives de puissance de sortie qui ne sont pas classifiables comme une dérive de puissance indésirable, mais plutôt comme une caractéristique du comportement fonctionnel normal du dispositif. Dans ce cas, d'autres méthodes telles que la mise à l'échelle de puissance peuvent être employées dans le but d'assurer qu'un DAS exact et prudent soit obtenu.

Les incertitudes dues à la distorsion de champ entre la limite de milieu et l'enceinte diélectrique de la sonde doivent également être réduites le plus possible, ce qui est obtenu si la distance entre la surface du fantôme et l'extrémité physique de la sonde est supérieure à un diamètre de l'extrémité de la sonde. Des méthodes de compensation sont généralement utilisées pour appliquer des procédures de correction pour ces effets de bord afin de permettre des mesurages plus proches que la moitié du diamètre de sonde [131], en particulier au-dessus de 3 GHz.

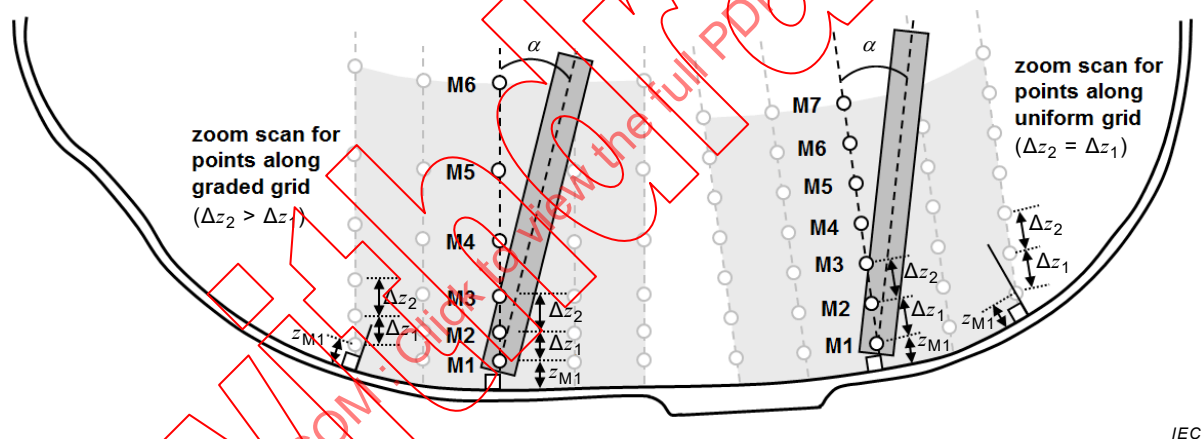
Tableau 1 – Paramètres de balayage de surface

Paramètre	Fréquence d'émission du DUT soumis à l'essai	
	$f \leq 3$ GHz	$3 \text{ GHz} < f \leq 6$ GHz
Distance maximale entre les points mesurés (centre géométrique des capteurs) et la surface interne du fantôme (z_{M1} à la Figure 6 en mm)	5 ± 1	$\delta \ln(2)/2 \pm 0,5^a$
Espacement maximal entre des points de mesure adjacents (voir 7.2.10.3.1, en mm) ^b	20 ou la moitié de la longueur de balayage-zoom correspondante, suivant la valeur la plus faible	$60/f$ ou la moitié de la longueur de balayage-zoom correspondante, suivant la valeur la plus faible
Angle maximal entre l'axe de sonde et la normale par rapport à la surface du fantôme (α à la Figure 6) °	30°	20°
Tolérance d'angle de sonde	1°	1°
^a δ est la profondeur de pénétration pour une onde plane incidente perpendiculairement sur un demi-espace plan. ^b Voir 7.2.10 sur la méthode de sélection de Δx et Δy pour les exigences individuelles de balayage de surface. ^c L'angle de sonde par rapport à la normale de la surface du fantôme est limité en raison de la dégradation de l'exactitude de mesure dans des champs avec des gradients spatiaux prononcés. L'exactitude de mesure diminue lorsque l'angle de sonde et la fréquence augmentent. C'est pourquoi la restriction d'angle de sonde est plus stricte à des fréquences au-dessus de 3 GHz.		

Tableau 2 – Paramètres de balayage-zoom

Paramètre	Fréquence d'émission du DUT soumis à l'essai	
	$f \leq 3$ GHz	$3 \text{ GHz} < f \leq 6$ GHz
Distance maximale entre les points mesurés les plus proches et la surface du fantôme (z_{M1} à la Figure 6 et au Tableau 1, en mm)	5	$\delta \ln(2)/2^a$
Angle maximal entre l'axe de sonde et la normale par rapport à la surface du fantôme (α à la Figure 6)	30°	20°
Espacement maximal entre des points mesurés dans les directions x et y (7.2.10.3.2, en mm)	8	$24/f^b$
Pour les grilles uniformes: Espacement maximal entre des points mesurés dans la direction perpendiculaire à l'enveloppe du fantôme (Δz_1 à la Figure 6, en mm)	5	$8 - f$

Paramètre	Fréquence d'émission du DUT soumis à l'essai	
	$f \leq 3$ GHz	$3 \text{ GHz} < f \leq 6$ GHz
<i>Pour les grilles graduelles:</i> Espacement maximal entre les deux points mesurés les plus proches dans la direction perpendiculaire à l'enveloppe du fantôme (Δz_1 à la Figure 6, en mm)	4	$12/f$
<i>Pour les grilles graduelles:</i> Augmentation incrémentielle maximale de l'espacement entre les points mesurés dans la direction perpendiculaire à l'enveloppe du fantôme ($R_z = \Delta z_2 / \Delta z_1$ à la Figure 6)	1,5	1,5
Longueur d'arête minimale du volume de balayage-zoom dans les directions x et y (L_z en 7.2.10.3.2, en mm)	30	22
Longueur d'arête minimale du volume de balayage-zoom dans la direction perpendiculaire à l'enveloppe du fantôme (L_h en 7.2.10.3.2, en mm)	30	22
Tolérance d'angle de sonde	1°	1°
^a δ est la profondeur de pénétration pour une onde plane incidente perpendiculairement sur un demi-espace plan. ^b Il s'agit de l'espacement maximal toléré, qui peut ne pas être adapté dans toutes les situations.		



IEC

Anglais	Français
Zoom scan for points along graded grid	Balayage-zoom pour les points le long d'une grille graduelle
Zoom scan for points along uniform grid	Balayage-zoom pour les points le long d'une grille uniforme

NOTE M1 à M7 sont des exemples de points de mesure utilisés pour l'extrapolation à la surface. Le maximum de l'angle α entre l'axe d'évaluation et la droite perpendiculaire à la surface est présenté dans le Tableau 1 et le Tableau 2. La distance z_{M1} est la distance de l'enveloppe du fantôme au premier point de mesure M1, et sa valeur maximale est indiquée dans le Tableau 1 et le Tableau 2. Les distances Δz_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) sont les distances des points de mesure M_i à M_{i+1} . Pour des grilles uniformes, Δz_i sont égaux. Pour des grilles graduelles, $\Delta z_{i+1} > \Delta z_i$. $R_z = \Delta z_{i+1} / \Delta z_i$ est un rapport avec une valeur maximale indiquée dans le Tableau 2.

Figure 6 – Orientation de la sonde par rapport à la droite perpendiculaire à la surface du fantôme à deux emplacements différents

6.4.3 Mesurages de DAS de combinés avec des antennes multiples ou des émetteurs multiples

6.4.3.1 Généralités

Les combinés avec des antennes multiples ou des émetteurs multiples (avec des antennes uniques ou multiples) émettant simultanément exigent des considérations d'essai spéciales. Les méthodes pour combiner les champs dans l'ordre afin de déterminer la distribution de DAS combinée diffèrent suivant que les émetteurs RF correspondants émettent ou non des formes d'onde qui sont corrélées ou non corrélées dans le temps. La méthode de sommation de champ et les exigences d'instrumentation de mesure associées pour les formes d'onde de signaux corrélés sont différentes de celles applicables aux signaux non corrélés (voir l'IEC TR 62630) [62].

6.4.3.2 Mesurages de DAS pour des signaux non corrélés

6.4.3.2.1 Exigences générales

Les procédures suivantes sont applicables à des dispositifs incorporant des modes de fonctionnement multiples qui sont destinés à fonctionner simultanément en utilisant:

- a) des fréquences multiples (f_1 , f_2 , etc.) qui sont séparées par plus que la plage de fréquences valide de l'étalonnage de sonde ou du liquide équivalent aux tissus, suivant le plus faible (c'est-à-dire, lorsque le DAS ne peut normalement pas être évalué simultanément en utilisant les mêmes sonde et liquide).

La plage de fréquences valide de l'étalonnage de sonde est généralement étroite (par exemple ± 50 MHz à ± 100 MHz) pour les sondes de champ électrique dans la plupart des systèmes actuellement utilisés. De plus, les sondes à champ électrique utilisées dans les systèmes actuels ayant généralement une tension continue en sortie, la sonde ne peut pas distinguer les signaux aux différentes fréquences. La plage de fréquences valide du liquide équivalent aux tissus désigne la plage de fréquences dans laquelle les paramètres diélectriques sont conformes à la tolérance des valeurs cibles (voir Tableau A.3 et [33]). En raison de ces limitations, les valeurs de DAS doivent dans un premier temps être évaluées séparément, puis combinées de façon arithmétique.

- b) des antennes multiples qui émettent en utilisant différentes modulations (par exemple, un appel vocal par AMRC et un transfert de données utilisant Wi-Fi) dans la même plage de fréquences valide de l'étalonnage de sonde et du liquide équivalent aux tissus.

Dans le cas d'antennes multiples émettant différentes modulations dans la même plage de fréquences, les mesurages doivent être effectués avec des signaux émis simultanément. Cependant, cela n'est pas nécessaire si les valeurs maximales moyennées sont additionnées comme décrit dans la Variante 1 ci-dessous (6.4.3.2.2, étant donné que cette méthode donne une surestimation prudente du DAS combiné). Pour le cas d'antennes multiples émettant des signaux corrélés (par exemple, certaines configurations MIMO), voir 6.4.3.3.

En 6.4.3, une combinaison d'essai est définie comme une combinaison particulière de position de dispositif (joue gauche, inclinaison droite, etc.), de configuration (par exemple, position d'antenne) et d'accessoire (batterie). Les paragraphes 6.4.3.2.2 à 6.4.3.2.5 décrivent d'autres procédures d'évaluation pour l'émission simultanée dans différentes bandes de fréquences. Les conditions préalables suivantes s'appliquent pour les variantes de méthodes.

- Le balayage de surface, le balayage-zoom et le DAS maximal moyenné sont évalués séparément à chaque fréquence (conformément au 6.4.2) avec l'émission à cette fréquence activée et l'émission aux autres fréquences désactivée.
- Les données de DAS de différentes fréquences ou antennes sont combinées conjointement uniquement lorsque la combinaison d'essai est la même pour ces bandes de fréquences ou antennes, et si cette combinaison d'essai est une combinaison d'essai prévue pour fonctionnement simultané (voir ci-dessous).

Différentes autres méthodes peuvent être utilisées pour différentes combinaisons d'essais. Les variantes sont résumées ci-dessous.

- Variante 1: Sommation de valeurs de DAS maximal moyenné, la méthode la plus simple mais la plus prudente pour déterminer la limite supérieure; toujours applicable (6.4.3.2.2).
- Variante 2: Sélection de la valeur de DAS maximal moyenné évalué la plus élevée, méthode simple; applicable dans certaines situations (6.4.3.2.3).
- Variante 3: Calcul de DAS volumétrique combiné de balayages de surface et/ou balayages-zoom existants, méthode exacte et rapide; toujours applicable (6.4.3.2.4).
- Variante 4: Balayage volumétrique, la méthode la plus exacte; toujours applicable (6.4.3.2.5).

Le mesurage du DUT est considéré comme étant totalement conforme aux exigences de la présente Norme s'il satisfait aux exigences de l'une de ces variantes de procédures d'évaluation.

La Variante 1 est la plus prudente et la plus simple en matière de calculs et n'exige pas de mesurage de DAS supplémentaire. Les Variantes 2 et 3 réduisent successivement le degré de surestimation, mais exigent plus de calcul et une plus grande analyse d'essai. La Variante 4 fournit la surestimation minimale et exige le plus d'effort.

6.4.3.2.2 Variante 1: Évaluation par sommation de valeurs de DAS maximal moyenné

Cette procédure est appliquée pour déterminer de manière prudente la limite supérieure du DAS combiné lorsque la même puissance de sortie maximale de chaque émetteur ou antenne est utilisée pour les émissions autonomes et simultanées. Noter que les différentes valeurs sommées de DAS maximal moyenné peuvent être à différents emplacements spatiaux. Cette procédure surestime le DAS combiné dans ce cas. Cette procédure est toujours applicable. Les procédures suivantes doivent être appliquées en utilisant des mesurages de DAS complets qui sont conformes à toutes les exigences normatives de la présente norme. Des mesurages rapides de DAS peuvent être utilisés pour identifier les conditions d'essai de DAS le plus élevé pour chaque bande de fréquences, comme décrit en 6.6.

- a) Pour une combinaison d'essai dans laquelle un fonctionnement simultané est prévu, ajouter les valeurs de DAS maximal moyenné pour chaque antenne et bande de fréquences lorsqu'un fonctionnement simultané est prévu (voir NOTE 1, NOTE 2 et NOTE 3 ci-dessous).
- b) Vérifier si la valeur sommée de DAS maximal est au plus à 3 dB de la limite applicable de DAS. Si c'est le cas, veiller à ce que tous les canaux de fréquences d'essai exigés en 6.2.5 aient été mesurés dans toutes les bandes de fréquences et pour toutes les antennes auxquelles un fonctionnement simultané est prévu et répéter l'Étape a).
- c) La valeur sommée de DAS maximal aux Étapes a) et b) est le DAS combiné.

NOTE 1 La valeur de DAS pour chaque bande de fréquences correspond au canal de fréquence soumis à l'essai dans cette bande dans laquelle le DAS maximal moyenné mesuré est le plus élevé. Au 6.2.5 le sous-ensemble approprié de fréquences à mesurer pour chaque bande de fréquences est spécifié, et les procédures pour mesurer à un nombre de fréquences plus faible que ce sous-ensemble sont décrites en 6.3. Par exemple, si le DAS a été mesuré aux canaux minimal, central et maximal dans une bande et si le DAS le plus élevé est au canal de fréquence minimale, le DAS maximal moyenné au canal de fréquence minimale est utilisé comme valeur de DAS pour cette bande de fréquences. Si seul le DAS au canal de fréquence centrale a été mesuré conformément aux procédures de 6.3, le DAS maximal moyenné au canal de fréquence centrale est utilisé comme valeur de DAS pour cette bande de fréquences.

NOTE 2 Une variation acceptable de l'Étape a) consiste à ajouter les valeurs de DAS maximal moyenné les plus élevées applicables à toutes les combinaisons d'émissions simultanées quelles que soient les conditions d'essai. En d'autres termes, le DAS maximal moyenné le plus élevé pour une bande de fréquences (parmi toutes les conditions d'essai dans cette bande de fréquences) est ajouté à la valeur de DAS maximal moyenné le plus élevé dans l'autre bande de fréquences (parmi l'ensemble des conditions d'essai), et ainsi de suite pour les autres bandes de fréquences lorsqu'un fonctionnement simultané est prévu. Chacune des combinaisons d'essai prises en compte en utilisant cette méthode est ensuite évaluée aux Étapes b) et c). Cette méthode est plus prudente que la méthode de l'Étape a).

NOTE 3 Une fois que la configuration d'essai de DAS maximal est identifiée, il est acceptable de réaliser un balayage volumétrique sur cette configuration conformément au 6.4.3.2.5 pour obtenir une estimation plus exacte du DAS combiné maximal.

6.4.3.2.3 Variante 2: Évaluation par sélection de valeurs de DAS maximal moyenné évalué les plus élevées

Cette procédure donne une estimation du DAS multibande lorsque les distributions de balayage-zoom de DAS mesurées séparément ont peu ou pas de chevauchement. Les maxima sont ensuite séparés à un degré tel que la valeur de DAS maximal moyenné la plus élevée de chaque distribution n'augmenterait pas de plus de 5 % lorsque les distributions de DAS de tous les autres modes de fonctionnement simultané sont ajoutées. Cette variante est applicable uniquement si le DAS maximal moyenné le plus élevé est inférieur à 70 % de la limite de conformité, calculée à partir des balayages-zoom à chaque fréquence. Cette procédure doit être appliquée en utilisant des mesurages complets de DAS qui sont conformes à toutes les exigences normatives de la présente Norme.

- a) Mesurer le DAS maximal moyenné à chaque fréquence, séparément, conformément au 6.4.2. Le balayage de surface doit être effectué dans le même plan à chaque fréquence. La distance z_{M1} pour tous les balayages de surface doit être inférieure ou égale à la valeur la plus faible de z_{M1} définie dans le Tableau 2 pour les fréquences d'intérêt. Le diamètre de l'extrémité de la sonde doit être conforme aux exigences de 5.1 à toutes les fréquences d'intérêt et il doit être conforme aux exigences d'étalonnage de la présente Norme.
- b) Les balayages de surface séparés doivent être interpolés de sorte que la zone de chevauchement ait la même grille. La résolution de la grille interpolée doit être de 1 mm ou mieux. Déterminer la valeur de crête dans chacun des balayages de surface. La zone de chevauchement doit contenir toutes les valeurs de crête de DAS.
- c) Pour tous les balayages de surface mesurés, créer une nouvelle distribution de DAS en ajoutant les balayages de surface interpolés spatialement, c'est-à-dire, point par point.
- d) Si la valeur de crête dans la nouvelle distribution de DAS créée à l'Étape c) ne dépasse pas les valeurs de DAS maximal les plus élevées séparées obtenues à l'Étape b) de plus de 5 %, alors le DAS multibande est choisi comme étant la plus élevée des valeurs de DAS maximal moyenné séparées, calculées à partir du balayage-zoom, telles que calculées à l'Étape a).

L'incertitude selon 7.3 doit être évaluée, documentée et enregistrée.

6.4.3.2.4 Variante 3: Évaluation par les données de DAS volumétrique calculées

Cette procédure utilise des balayages de surface et des balayages-zoom existants (ou des balayages 3D spécifiques couvrant la région de balayage de surface) en combinaison avec l'interpolation et l'extrapolation pour la génération de données de DAS volumétrique et est un moyen rapide d'obtention du DAS combiné. Elle est toujours applicable. Cette procédure doit être appliquée en utilisant des mesurages complets de DAS qui sont conformes à toutes les exigences normatives de la présente Norme.

- a) Pour une combinaison d'essai dans laquelle un fonctionnement simultané est prévu, calculer la distribution de DAS volumétrique sur une région correspondant au balayage de surface pour chaque bande de fréquences lorsqu'un fonctionnement simultané est prévu. Différents algorithmes utilisés à cet effet ont été présentés dans [9], [80], [101], [102], [103]. L'incertitude de la méthode utilisée doit être bien documentée conformément aux procédures de 7.2.10 et doit être enregistrée.
- b) Ajouter les distributions de DAS volumétrique de toutes les bandes de fréquences spatialement, en utilisant l'interpolation conformément au 6.5.1. Pour chaque bande de fréquences, lorsqu'un fonctionnement simultané est prévu, cette étape doit être effectuée pour chaque canal de fréquence mesuré conformément aux exigences de 6.2.5 et aux procédures de 6.3 (voir NOTE 1 de 6.4.3.2.2).
- c) Utiliser les procédures post-traitement définies en 6.5 et en Annexe C pour déterminer les valeurs de DAS maximal moyenné des distributions de DAS de l'Étape b).

- d) Vérifier si la valeur la plus élevée du DAS maximal moyenné est au plus à 3 dB de la limite de conformité. Si c'est le cas, veiller à ce que tous les canaux de fréquences d'essai exigés en 6.2.5 aient été mesurés dans toutes les bandes de fréquences dans lesquelles un fonctionnement simultané est prévu et répéter les Étapes a) à c).

6.4.3.2.5 Variante 4: Évaluation par balayage volumétrique

Cette procédure est la façon la plus exacte d'évaluer le DAS combiné et est toujours applicable. Comme indiqué ci-dessus, les données de DAS sont combinées pour chaque condition d'essai (position de dispositif, configuration et accessoire) lorsqu'une émission simultanée est prévue. Cette procédure doit être appliquée en utilisant des mesurages complets de DAS qui sont conformes à toutes les exigences normatives de la présente Norme.

- a) Pour une combinaison d'essai dans laquelle un fonctionnement simultané est prévu, veiller à ce que le balayage-zoom ait été mesuré conformément à 6.4.2 à tous les canaux de fréquences d'essai spécifiés en 6.2.5 (voir NOTE 1 de 6.4.3.2.2) pour chaque bande de fréquences à laquelle un fonctionnement simultané est prévu.
- b) Pour chaque bande de fréquences de l'Étape a), sélectionner le canal de fréquences ayant le DAS maximal moyenné le plus élevé.
- c) Déterminer une grille volumétrique qui couvre les balayages-zoom aux fréquences d'essai déterminées à l'Étape b) sur toutes les bandes de fréquences auxquelles un fonctionnement simultané est prévu. Si les balayages-zoom aux fréquences f_1, f_2 , etc. sont éloignés à tel point que la grille volumétrique est très grande, entraînant des temps de mesure très longs, une variation acceptable de cela consiste à identifier tous les emplacements des balayages-zoom pour chaque canal de fréquences de l'Étape b) et d'appliquer la variante de procédure de l'Étape d).
- d) À chaque canal de fréquences déterminé à l'Étape b), mesurer la grille volumétrique observée à l'Étape c). Ce mesurage de grille volumétrique respecte toutes les exigences de 6.4.2, Étapes d) à e) sauf que la grille volumétrique est plus grande que le balayage-zoom. S'il a été décidé à l'Étape c) d'utiliser les emplacements des balayages-zoom au lieu d'une grille volumétrique, alors à chaque canal de fréquences déterminé à l'Étape b), mesurer le balayage-zoom pour les autres fréquences exactement aux mêmes emplacements que ceux des balayages-zoom précédemment mesurés à l'Étape a). Le mesurage est réalisé avec le mode de fonctionnement à cette fréquence activé et les modes de fonctionnement aux autres fréquences désactivés.
- e) Ajouter les distributions de DAS obtenues à l'Étape d) spatialement pour obtenir une distribution de DAS sommée. Calculer le DAS combiné maximal à partir de la distribution sommée en utilisant les procédures post-traitement (interpolation, extrapolation et calcul de moyenne) définies en 6.5 pour déterminer le DAS maximal moyenné. Lorsque des balayages volumétriques sont réalisés pour chaque fréquence, ceux-ci doivent être sommés et la valeur de crête maximale est déterminée en fonction de la distribution totale. Dans le cas où seuls des balayages-zoom sont effectués à l'Étape d), les balayages-zoom à chaque emplacement de crête dans chaque bande de fréquences sont combinés et le plus élevé est identifié pour calculer le DAS maximal moyenné.

Il convient de fixer le dispositif soumis à l'essai sur le fantôme lorsque les liquides sont modifiés de sorte que la sommation des distributions de DAS soit aussi exacte que possible. Si la batterie du dispositif nécessite d'être rechargée, le câble du chargeur doit être raccordé au DUT lorsqu'il reste positionné sur le fantôme. Le câble doit être raccordé uniquement pendant la charge de la batterie entre des mesurages de DAS et doit être détaché pendant l'essai.

6.4.3.2.6 Exemple de calcul de DAS combiné utilisant la Variante 1

Le paragraphe 6.4.3.2.6 décrit un exemple de l'application de la méthode de sommation des valeurs de DAS maximal moyenné (Variante 1). Le paragraphe 6.4.3.2.6 n'est donné qu'à titre d'exemple. Le Tableau 3 décrit un exemple d'un combiné sans fil ayant deux antennes et quatre modes de fonctionnement, pour lequel les valeurs de DAS maximal moyenné pour 10 g provenant de mesurages de bande unique sont données dans la troisième colonne et la troisième ligne pour les quatre modes de fonctionnement et les antennes. Les cellules en bas

et à droite de ces valeurs présentent les valeurs de DAS combiné. Seules les cellules qui ne sont pas grisées sont applicables et évaluées pour cet exemple. Les quatre modes de fonctionnement sont constitués de deux modes vocaux (parole) et deux modes de données, chacun dans deux bandes de fréquences. Les valeurs de DAS maximal moyenné pour 10 g ont toutes été mesurées au canal central des bandes de fréquences respectives pour un fonctionnement monobande (un mode de fonctionnement et une antenne émettent tandis que les autres bandes et antennes sont désactivées). Ces valeurs de DAS sont présentées dans la troisième ligne pour l'antenne 1 et dans la troisième colonne pour l'antenne 2. Les valeurs de DAS combiné sont calculées en utilisant la Variante 1 (c'est-à-dire, simple sommation des valeurs de DAS maximal moyenné pour 10 g dans la ligne 3 et la colonne 3). Pour cet exemple, le combiné prend en charge un seul mode vocal (parole) à la fois, et un mode de données à la fois, et il prend en charge l'émission simultanée de parole et de données. Par conséquent, un mode vocal n'est pas combiné avec un autre mode vocal, par exemple. De plus, des mesurages de DAS sur le côté gauche de la tête ne sont pas combinés avec des mesurages de DAS sur le côté droit. Cependant, il est prévu dans cet exemple que les deux antennes puissent émettre simultanément.

Tableau 3 – Exemple de méthode pour déterminer la valeur de DAS combiné utilisant la Variante 1

Antenne 1 \ Antenne 2			Parole Bande 1		Parole Bande 2		Données Bande 1		Données Bande 2	
			Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite
			0,285	0,250	0,333	0,315	0,512	0,489	0,593	0,574
Parole Bande 1	Gauche	0,141					0,653		0,734	
	Droite	0,120						0,609		0,694
Parole Bande 2	Gauche	0,131					0,643		0,724	
	Droite	0,130						0,619		0,704
Données Bande 1	Gauche	0,220	0,505		0,553					
	Droite	0,213		0,463		0,528				
Données Bande 2	Gauche	0,225	0,510		0,558					
	Droite	0,216		0,466		0,531				

6.4.3.3 Mesurages de DAS pour des signaux corrélés

Des combinés avec des antennes multiples émettant simultanément des signaux corrélés représentent un cas particulier de dispositifs, tels que des émetteurs MIMO avec des capacités de formation de faisceau numérique, et exigent des considérations d'essai spéciales. Les signaux de ces combinés peuvent être classés en fonction du changement de phases relatives dans une communication normale. En général, deux types de signaux peuvent être observés dans la plupart des émetteurs à plusieurs antennes de dernière génération. Le premier type, désigné sous le nom de Type 1, représente les signaux avec des phases relatives inchangées pendant une durée relativement longue par rapport à la durée d'un symbole. Ce type de signal peut être observé dans les systèmes d'antennes en réseau à commande de phase, dans lesquels les phases relatives des signaux envoyés aux antennes sont commandées, pour former le diagramme de rayonnement de l'antenne en réseau dans une certaine direction. Dans des environnements de fonctionnement différents, les phases relatives peuvent varier pour obtenir différents diagrammes de rayonnement souhaités. Ainsi, dès que la direction d'émission est déterminée et le diagramme formé, les phases relatives sont fixées pendant une certaine durée, et ne varient que lorsque le diagramme de rayonnement est configuré pour une autre forme. En fait, la durée pendant laquelle les phases relatives sont maintenues inchangées est relativement longue par rapport à la durée d'un symbole dans une communication normale. D'autre part, le second type de signaux, désigné sous le nom de Type 2, représente les signaux avec des phases relatives qui varient rapidement pendant une durée relativement courte. De tels signaux peuvent être observés dans les systèmes utilisant des techniques MIMO. Les phases relatives des signaux varient

de symbole à symbole en raison de la fonction de code de bloc espace-temps (STBC, space-time block code) dans les systèmes MIMO. Les phases relatives des signaux varient de symbole à symbole selon le codage STBC, et la formation de faisceau n'est pas utilisée au cours d'une communication normale.

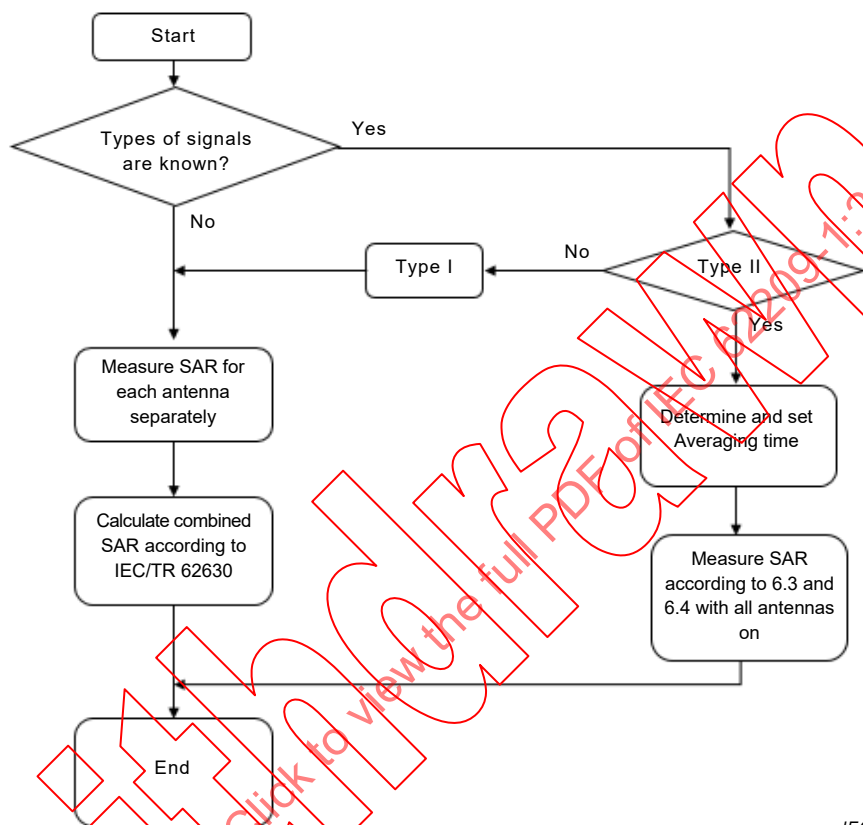
Comme décrit dans l'IEC TR 62630 [62], les signaux corrélés peuvent uniquement être transmis à la même fréquence porteuse et le DAS dépend de(s) phase(s) relative(s) entre les signaux. Par conséquent, le DAS maximal moyenné ne peut pas être évalué avec exactitude en utilisant des sondes de champ E scalaires à partir d'un mesurage avec des émetteurs réglés sur une condition de phase relative fixe si ces phases sont soumises à une variation pendant le fonctionnement normal du dispositif. En revanche, pour une évaluation exacte de DAS, des mesurages répétés correspondant à toutes les combinaisons de phases entre les émetteurs sont nécessaires. Il s'agit d'une évaluation plutôt longue et fastidieuse qui peut ne pas être réalisable sauf si certains systèmes DAS sont utilisés. De tels systèmes permettent des balayages de DAS rapides combinés avec la commande logicielle de DUT pour le cyclage par toutes les combinaisons de phases possibles des signaux émis simultanément à leurs puissances de sortie maximales moyennées. En général, le DAS maximal moyenné de chaque émetteur individuel émettant séparément à la puissance de sortie maximale moyennée peut également être évalué avec exactitude en utilisant des mesurages de DAS individuels. Cependant, cela exige des mesurages vectoriels complexes de champ E (c'est-à-dire, des mesurages d'amplitude et de phase des trois composantes de champ E) et est par conséquent moins pratique.

L'autre méthode qui tire profit des systèmes DAS conventionnels est basée sur des mesurages de DAS pour chaque émetteur émettant séparément à la puissance de sortie moyennée la plus élevée et la combinaison des résultats de DAS individuels comme décrit dans l'IEC TR 62630 [62]. Cette approche conduit à des mesurages de DAS beaucoup plus rapides, mais ne produit qu'une limite supérieure de DAS, susceptible de surestimer les résultats. L'IEC TR 62630 décrit deux méthodes de combinaison du DAS de mesurages individuels en utilisant les sondes de champ E scalaires conventionnelles. La première méthode est basée sur une combinaison des amplitudes des valeurs de champ E individuelles et la deuxième est basée sur les amplitudes des composantes de champ E individuelles. Ces deux méthodes peuvent être mises en œuvre en utilisant des systèmes de mesure de DAS conventionnels et exigent uniquement un nombre limité de balayages de DAS égal au nombre d'émetteurs. Il convient d'utiliser la deuxième approche basée sur une combinaison des composantes de champ E individuelles, car elle conduit à un degré moindre de surestimation potentielle de DAS et de nombreux systèmes DAS produisent aisément les données d'entrée exigées pour le post-traitement décrit dans [62]. La procédure de mesure pour les différents types de signaux corrélés est décrite à la Figure 7. Pour le signal de Type 1 dans la classification susmentionnée, ou les signaux non spécifiés, il convient d'utiliser la deuxième approche basée sur une combinaison des composantes de champ E individuelles qui conduit à un degré moindre de surestimation potentielle de DAS et de nombreux systèmes DAS produisent aisément les données d'entrée exigées pour le post-traitement décrit dans [62]. Pour les signaux de Type 2 dans la classification susmentionnée, l'utilisation de l'approche des mesurages de DAS moyenné (voir NOTE ci-dessous) exige uniquement la procédure de mesure définie au 6.4, avec l'utilisation de sondes scalaires conventionnelles.

NOTE Une autre méthode consiste à mesurer le DAS moyenné dans une certaine période d'intégration en utilisant les systèmes de mesure de DAS scalaires conventionnels. Cette méthode peut s'appliquer uniquement aux dispositifs de génération de signaux corrélés de Type 2. La propriété du signal considérée par hypothèse que la combinaison de phases relatives qui génère le DAS maximal ne se produit pas souvent, et même lorsque c'est le cas, elle se produit pendant très peu de temps avant d'être dominée par d'autres combinaisons qui produisent un DAS inférieur. Étant donné que le DAS est déterminé par l'énergie électromagnétique absorbée par le matériau cible équivalent aux tissus exposés, l'utilisation de la procédure de calcul de moyenne convient à l'évaluation de DAS dans ces champs électromagnétiques à fluctuations rapides. Pour évaluer le DAS moyenné de ces dispositifs, toutes les antennes d'émission sont activées en même temps dans la mesure où elles sont dans une communication normale, et les valeurs de DAS instantané sont mesurées à chaque point de mesure avec un intervalle de temps d'échantillonnage et sont moyennées sur une durée appropriée pour capturer les caractéristiques des signaux.

Cette méthode a l'avantage d'utiliser une sonde scalaire conventionnelle et, en outre, fournit un DAS mesuré qui est proche du DAS réel. Elle exige également un seul mesurage de moyenne temporelle à chaque point de mesure exigé par la procédure de mesure en 6.4, quel que soit le nombre d'antennes d'émission. Cependant le temps d'intégration pour le système à plusieurs antennes est plus long que celui du système classique d'antenne

d'émission unique. En outre, lorsque le nombre d'antennes augmente, le temps d'intégration peut être légèrement plus long pour obtenir un DAS convergent, du fait de la fluctuation dans le temps du DAS instantané avec l'augmentation du nombre d'antennes. Le temps d'intégration dépend également de la fréquence d'échantillonnage des sondes des systèmes de mesure de DAS. Il se réduit au fur et à mesure que la fréquence d'échantillonnage augmente, et inversement. Par exemple, pour un système de mesure de DAS avec une cadence de mesure de 1 250 échantillons par seconde, le temps d'intégration de 1 s conduit à ce que l'écart-type des valeurs de DAS instantané en raison d'antennes d'émission multiples soit maintenu au-dessous de 2 %. Dans un tel cas, l'incertitude de mesure totale est évaluée à l'aide du bilan d'incertitude présenté à l'Article 7 avec des valeurs typiques, l'incertitude des systèmes d'antennes d'émission multiples est en termes de niveau similaire à celle des systèmes d'antenne unique (généralement à 8,7 %).



IEC

Anglais	Français
START	DÉBUT
Types of signals are known?	Les types de signaux sont-ils connus?
YES	OUI
NO	NON
Type	Type
Measure SAR for each antenna separately	Mesurer le DAS pour chaque antenne séparément
Calculate combined SAR according to IEC TR 62630	Calculer le DAS combiné conformément à l'IEC TR 62630
END	FIN
Determine and set averaging time	Déterminer et définir le temps d'intégration
Measure SAR according to 6.3 & 6.4 with all antennas on	Mesurer le DAS selon 6.3 et 6.4 avec toutes les antennes activées (sur «ON»)

Figure 7 – Procédure de mesure des différents types de signaux corrélés

6.5 Post-traitement de données de mesure de DAS

6.5.1 Interpolation

La résolution de la grille de mesure n'est pas aussi fine que celle exigée par les exigences d'interpolation pour le balayage de surface et le balayage-zoom pour calculer le DAS maximal moyenné. L'interpolation doit être appliquée aux points de mesure. Des exemples de processus d'interpolation sont donnés en Annexe C.

6.5.2 Extrapolation

Les sondes de champ électrique utilisées pour mesurer le DAS sont habituellement constituées de trois dipôles orthogonaux très proches les uns des autres et placés dans un protecteur/boîtier de protection. Le point de mesure (étalonnage) est situé à quelques millimètres de l'extrémité de la sonde et ce décalage doit être pris en compte pour identifier la position du DAS mesuré. En raison des erreurs de l'effet de bord de sonde et du décalage du capteur de sonde, le DAS n'est pas mesuré à la surface du fantôme. Les points mesurés qui sont les plus proches de la surface sont extrapolés pour estimer le DAS le plus élevé à la surface du fantôme. Des exemples de processus d'extrapolation sont donnés en Annexe C.

6.5.3 Définition du volume d'intégration

Le volume d'intégration doit être de forme cubique avec un côté d'une longueur telle que la masse soit de 1 g ou 10 g. Une densité de 1 000 kg/m³ doit être utilisée pour représenter la densité des tissus de la tête (la densité réelle du liquide du fantôme ne doit pas être utilisée). La longueur du côté du cube de 1 g doit être de 10 mm, et la longueur du côté du cube de 10 g doit être de 21,5 mm. L'orientation concernant le volume cubique est donnée en Annexe C.

6.5.4 Recherche des maxima

Le volume cubique d'intégration doit être déplacé à travers le volume interpolé et extrapolé de la zone de balayage-zoom proche de la surface interne du fantôme à proximité du DAS local maximal, en tenant compte des considérations données en Annexe C. Le cube ayant le DAS maximal moyenné le plus élevé ne doit pas être au bord/à la périphérie du volume de balayage-zoom. Si c'est le cas, le volume du balayage-zoom doit être déplacé et les mesurages effectués à nouveau.

6.6 Essai rapide de DAS

6.6.1 Généralités

Les mesurages qui utilisent des systèmes parfaitement conformes aux exigences de la présente Norme sont appelés "mesurages complets de DAS". Les procédures décrites en 6.6 s'appliquent aux méthodes rapides de DAS qui diffèrent des évaluations complètes de DAS. Les méthodes rapides de DAS utilisent des techniques, méthodes ou algorithmes spéciaux, afin de diminuer le temps de mesure. Les mesurages rapides de DAS peuvent être utilisés conjointement avec des mesurages complets de DAS afin de réduire le temps de mesure total nécessaire pour évaluer un dispositif sans fil. Étant donné que des méthodes rapides de DAS ne sont pas totalement conformes à toutes les exigences normatives de la présente Norme, elles peuvent être utilisées pour évaluer les niveaux de DAS relatif pour différentes conditions d'essai, et les systèmes DAS complets sont utilisés pour évaluer les niveaux de DAS absolu des configurations de DAS plus élevées sélectionnées. Il est attendu que les techniques spéciales utilisées par les méthodes rapides de DAS introduisent des décalages et/ou incertitudes supplémentaires qui peuvent dépendre du mode de fonctionnement (par exemple, GSM, AMRC à bande élargie ou fréquence, modulation).

NOTE Les procédures rapides de DAS décrites en 6.6 permettent aux utilisateurs de la présente Norme de réduire le temps exigé pour les essais. Ces autres essais ne sont pas obligatoires; l'utilisateur de la présente Norme reste libre de les appliquer correctement selon 6.6.1 à 6.6.4 conjointement avec le DAS complet ou d'appliquer la procédure de mesure complète de DAS normalisée décrite de 6.3 à 6.5.

Par exemple, un système DAS rapide utilisant une résolution de mesure fixe a une incertitude de mesure plus élevée à des fréquences plus élevées auxquelles la distribution de DAS décroît généralement plus rapidement dans les trois directions de coordonnées (c'est la raison pour laquelle un espacement plus faible entre des points de mesure est exigé à des fréquences plus élevées, comme décrit en 6.4.2). Pour cette raison, des mesurages complets de DAS doivent être utilisés pour la condition d'essai de DAS le plus élevé et d'autres conditions d'essai à un niveau de confiance de 95 % de la condition d'essai de DAS le plus élevé de la limite de DAS, comme déterminé par les méthodes rapides de DAS (voir 6.6.2 ou 6.6.4).

Les méthodes rapides de DAS n'entrent pas dans la classe des méthodes de réduction d'essai. Les méthodes rapides de DAS visent généralement à diminuer le temps passé pour effectuer un mesurage unique (comme décrit ci-dessous) et les méthodes de réduction d'essai visent à réduire le nombre total de mesurages à effectuer. En général, les méthodes rapides de DAS sont basées sur des approximations et des optimisations qui sont spécifiques à chaque mise en œuvre. Pour cette raison, la méthode individuelle doit être totalement validée pour déterminer son applicabilité pour soumettre à l'essai différents dispositifs sans fil, comme décrit en D.4.2. La plage de fréquences valide, les distributions de DAS et les niveaux de DAS applicables pour la méthode rapide de DAS doivent être documentés, comme décrit en D.4.2. Les utilisateurs d'une méthode rapide de DAS doivent effectuer un *contrôle du système* pour démontrer la fiabilité et la cohérence de la méthode, comme décrit au D.4.3.

Les méthodes rapides de DAS peuvent être classées en deux types qui sont décrits en 6.6 et à l'Annexe K.

La classe des méthodes rapides de DAS décrites en 6.6 est basée sur des mesurages effectués par un équipement qui est conforme aux exigences de la présente Norme, mais des techniques spéciales sont appliquées pour améliorer la vitesse de mesure. Cette classe de méthodes est basée sur le balayage et les exigences post-traitement de la méthode rapide de DAS individuelle utilisée pour diminuer le temps de mesure, avec une exactitude plus faible ou une incertitude de mesure plus élevée que le mesurage complet de DAS. Les méthodes rapides de DAS décrites en 6.6 doivent être conformes aux parties normatives suivantes de la présente Norme.

- Les sondes utilisées doivent être conformes à toutes les exigences normatives spécifiées dans la présente Norme, comprenant les exigences pour les dimensions, isotropie, résolution spatiale, plage dynamique, linéarité, fonctionnement avec des signaux modulés et étalonnage de sonde. Les méthodes rapides de DAS doivent être utilisées uniquement dans les plages de fréquences dans lesquelles les exigences de sonde sont respectées.
- La lecture électronique doit être conforme aux exigences de 5.6.
- Les liquides équivalents aux tissus doivent être conformes aux exigences de A.4.
- Les fantômes doivent être conformes aux exigences de 5.2 et de l'Annexe A.
- Le support de dispositif doit être conforme aux exigences de 5.5.
- Les conditions d'essai du dispositif en essai doivent être conformes aux exigences de 6.2 et 6.3. Cela comprend les modes de fonctionnement, les niveaux de puissance, les fréquences d'essai, les positions d'essai contre le fantôme et les configurations d'essai du dispositif.
- Le mesurage de référence et la dérive de DAS doivent être évalués pour chaque mesurage, conformément à 6.4.2.
- Le nombre d'essais à appliquer au DUT doit être conforme aux exigences de 6.3. La zone sur laquelle le mesurage rapide de DAS est effectué doit couvrir au moins une zone plus grande que la projection du combiné et de l'antenne comme expliqué au 6.4.2.

La principale différence réside dans le fait que ces méthodes rapides de DAS visent à réduire le nombre de points de mesure en utilisant des variantes modifiées ou différentes aux balayages de surface et balayages-zoom décrits en 6.4.2. La réduction du nombre de points de mesure réduit en conséquence le temps de mesure étant donné que la sonde de DAS

exige moins de mouvements mécaniques. En particulier, certaines des méthodes nécessitent uniquement un balayage de surface grossier pour extrapoler les données volumétriques exigées pour calculer le DAS maximal moyenné.

Une évaluation de l'incertitude de mesure de la méthode rapide de DAS doit également être effectuée. Pour les méthodes rapides de DAS utilisant un équipement qui est conforme aux exigences de la présente Norme, les contributions à l'incertitude sont décrites en 7.4. Le rapport des évaluations de DAS rapides doit être réalisé conformément aux exigences de l'Article 8.

Plusieurs publications associées à différentes méthodes rapides de DAS spécifiées en 6.6 sont disponibles. Il ne relève cependant pas du domaine d'application de 6.6 de produire une liste exhaustive de publications. En d'autres termes, les spécifications données en 7.4 et à l'Article D.4 concernent davantage les exigences générales applicables pour valider et vérifier une procédure rapide de DAS pour soumettre à l'essai des dispositifs sans fil individuels et pour déterminer l'incertitude de mesure, plutôt que des détails de méthodes rapides de DAS spécifiques. L'Annexe K décrit une autre classe de méthodes rapides de DAS qui n'est pas basée sur des mesurages effectués à l'aide d'un équipement qui est conforme aux exigences de la présente Norme internationale et donne également des exemples décrivant comment estimer l'incertitude de mesure rapide de DAS.

6.6.2 Procédure A de mesure rapide de DAS

Cette procédure A de mesure rapide de DAS doit être appliquée si l'évaluation a pour but de déterminer le DAS maximal d'un DUT.

Les étapes suivantes doivent être appliquées lors de l'utilisation d'une procédure rapide de DAS. Voir l'Annexe K pour des exemples spécifiques décrivant comment cette procédure est appliquée. Avant d'appliquer cette procédure, s'assurer qu'un *contrôle du système* de la technique de DAS rapide a été effectué, en utilisant la méthode de D.4.3. Le *contrôle du système* doit être effectué dans les 24 h précédant le mesurage rapide de DAS et sur le même système de mesure de DAS utilisé pour l'évaluation de DAS. Le *contrôle du système* de la méthode complète de DAS doit également être effectué, comme indiqué à l'Article D.2. Le *contrôle du système* pour la méthode rapide de DAS et la méthode complète de DAS peut être effectué en utilisant le même ensemble de mesurages, dans la mesure où les exigences pour les deux *contrôles de système* sont respectées.

- a) Utiliser la méthode rapide de DAS pour effectuer les mesurages exigés en 6.3 sur un ensemble choisi de configurations d'essai. Pendant les mesurages rapides de DAS, la région de balayage pour chaque configuration d'essai doit couvrir au moins la zone exposée et englobée par la projection du combiné. Le nombre de valeurs de crête de DAS et leurs emplacements dans chaque configuration d'essai sont déterminés comme décrit au 6.4.2. Étape c) Les configurations d'essai qui exigent une évaluation de DAS doivent être groupées séparément pour chaque fréquence et modulation, même si le dispositif a des bandes de fréquences et des modulations multiples, et la méthode rapide de DAS est appliquée pour effectuer des mesurages sur les N groupes de configurations d'essai. Afin de réduire la probabilité de devoir effectuer un essai complet de DAS supplémentaire à l'Étape f), l'essai rapide de DAS peut être effectué pendant l'Étape a) aux fréquences d'essai exigées de 6.2.5 lorsqu'il est probable que ces exigences s'appliquent.
- b) Pour chacune des N bandes de fréquences et modulations évaluées à l'Étape a), déterminer la configuration d'essai ayant la valeur maximale de DAS mesurée par la technique de DAS rapide, appelée $DAS_{\max, \text{rapide } i}$ ($i = 1$ à N). Utiliser la méthode complète de DAS (conformément à la procédure de 6.3; un balayage de surface réduit tel que défini ci-dessous peut être utilisé) pour mesurer chacune des N configurations d'essai de DAS le plus élevé identifiées dans cette étape, appelée $DAS_{\max, \text{complet } i}$. Sélectionner la valeur maximale parmi les N configurations d'essai, $DAS_{\max, \text{complet}} = \max(DAS_{\max, \text{complet } i})$. Il n'est pas nécessaire de répéter le balayage de surface entier pendant le mesurage complet de DAS lorsque le nombre de valeurs de crête de DAS est déjà connu à partir du mesurage rapide de DAS. Toutefois, l'emplacement du DUT est essentiel pour la mise en œuvre de cette procédure.

Pour le balayage de surface réduit, toutes les exigences de 6.3 s'appliquent, sauf que les points autour de la grille de balayage de surface les plus proches de chaque valeur de crête de DAS doivent être mesurés. L'emplacement des valeurs de crête de DAS déterminé par les mesurages rapides de DAS peut être utilisé pour optimiser le nombre de points mesurés au cours de ce balayage de surface réduit. Le nombre de valeurs de crête de DAS déterminé au cours du balayage de surface réduit de DAS complet et du mesurage rapide de DAS pour chaque configuration d'essai doit être le même. Les emplacements des valeurs de crête de DAS par rapport au téléphone entre le balayage de surface réduit de DAS rapide et le balayage de surface réduit de DAS complet doivent également être les mêmes; mais ils peuvent être légèrement différents par rapport aux coordonnées du fantôme (par exemple, la position (x,y) du dispositif par rapport au fantôme SAM peut être légèrement différente dans la tolérance de positionnement exigée). Le nombre minimum de points mesurés qui entourent une valeur de crête de DAS doit être mesuré. Le balayage de surface réduit doit se conformer aux paramètres définis dans le Tableau 1.

- c) Parmi les N groupes de bandes de fréquences et modulations définis à l'Étape a), choisir le i -ème correspondant à $DAS_{\max, \text{complet}}$ à l'Étape b). Pour ce i -ème groupe, utiliser la méthode complète de DAS conformément à la procédure de 6.3 (le balayage de surface réduit tel que décrit en 6.6.2). L'Étape b) peut être utilisée pour mesurer toutes les autres configurations d'essai ($j = 1$ à M , où M est le nombre de configurations d'essai rapide de DAS dans le i -ème groupe) si la condition de la Formule (10) est satisfaite:

$$DAS_{\text{rapide}, i, j} \geq DAS_{\max, \text{rapide}, i} \times \left(B_{\text{rapide}, i} - \sqrt{B_{\text{rapide}, i}^2 - 1} \right) \quad (10)$$

$B_{\text{rapide}, i}$ est calculé conformément à la Formule (11):

$$B_{\text{rapide}, i} = \frac{1}{1 - (1,64 U_{\text{rapide}, i})^2} \quad (11)$$

$U_{\text{rapide}, i}$ dans la Formule (11) est l'incertitude de mesure des mesurages rapides de DAS conformément à 7.4, qui correspond à l'incertitude-type ($k = 1$) du bilan d'incertitude du Tableau 14. Le positionnement du DUT est essentiel pour la mise en œuvre de cette procédure. Noter que les Formules (10) et (11) sont dérivées pour un intervalle de confiance à 95 % où $DAS_{\text{rapide}, i, j} \leq DAS_{\max, \text{rapide}, i}$. Cet intervalle de confiance est donné par:

$(DAS_{\max, \text{rapide}, i} - DAS_{\text{rapide}, i, j}) - 1,64 U_{\text{rapide}, i} \sqrt{DAS_{\max, \text{rapide}, i}^2 + DAS_{\text{rapide}, i, j}^2} \leq 0$. La résolution de $DAS_{\text{rapide}, i, j}$ conduit aux Formules (10) et (11), où U_{rapide} est l'incertitude-type et a une loi gaussienne. La valeur de 1,64 est le facteur pour un intervalle de confiance unilatéral à 95 % d'une variable aléatoire à loi gaussienne.

- d) À partir des mesurages complets de DAS qui ont été effectués jusqu'ici, désignés par $DAS_{\text{complet}, i, j}$, choisir la valeur la plus élevée, $DAS_{\text{plus\_élevé}, \text{complet}} = \max(DAS_{\text{complet}, i, j})$; qui comprend toutes les configurations d'essai pour toutes les N bandes de fréquences et modulations différentes évaluées. Noter que $DAS_{\text{plus\_élevé}, \text{complet}}$ est supérieur ou égal à $DAS_{\max, \text{complet}}$ obtenu à l'Étape b), suivant que l'évaluation à l'Étape c) a produit ou non des valeurs de DAS complet plus élevées que l'Étape b).
- e) Pour chaque i -ème groupe de bandes de fréquences et modulations ($i = 1$ à N) qui n'a pas été évalué selon l'Étape c), utiliser le seuil de la Formule (12) pour déterminer si l'Étape c) est nécessaire:

$$DAS_{\max, \text{complet}, i} \geq DAS_{\text{plus\_élevé}, \text{complet}} \times \left(B_i - \sqrt{B_i^2 - 1} \right) \quad (12)$$

$DAS_{\max, \text{complet}, i}$ a été mesuré à l'Étape b), $DAS_{\text{plus\_élevé}, \text{complet}}$ a été déterminé à partir de l'Étape d) et B_i est calculé conformément à la Formule (13):

$$B_i = \frac{1}{1 - \left(1,64 \sqrt{U_{\text{rapide}_i}^2 + U_{\text{complet}_i}^2}\right)^2} \quad (13)$$

U_{complet_i} est l'incertitude de mesure des mesurages complets de DAS conformément à l'Article 7, correspondant à l'incertitude-type ($k = 1$). Si la Formule (12) est remplie, l'Étape c) doit être appliquée sur ce i -ème groupe de conditions d'essai. La Formule (13) donne des valeurs positives pour B_{rapide_i} (et des valeurs réelles pour $DAS_{\text{rapide}_i,j}$) lorsque $\sqrt{U_{\text{rapide}_i}^2 + U_{\text{complet}_i}^2}$ est inférieur à $1/1,64 \approx 61 \%$. Par conséquent, les systèmes DAS rapides ne sont pas valides pour $U_{\text{rapide}_i} \geq 61 \%$. Il convient que les procédures de 6.6 fassent clairement apparaître qu'un système DAS rapide n'est pas utile si son incertitude s'approche de cette valeur. L'augmentation de l'incertitude du système DAS rapide s'accompagne d'une diminution constante de l'efficacité, étant donné que des mesurages complets de DAS sont exigés en plus grand nombre; lorsque l'incertitude de DAS rapide est supérieure ou égale à 61 %, seuls des mesurages complets de DAS sont acceptables.

NOTE Les Formules (12) et (13) sont dérivées pour une confiance de 95 % que la valeur de DAS complet la plus élevée dans la i -ème bande de fréquences et modulation ($DAS_{\text{max,complet}_i}$) est inférieure à $DAS_{\text{plus_élevé,complet}}$. Ces formules sont très similaires aux Formules (10) et (11). La principale différence est que la somme quadratique de U_{rapide_i} et U_{complet_i} est utilisée dans la Formule (13) pour appliquer l'incertitude totale lors de la comparaison de $DAS_{\text{max,complet}_i}$ et de $DAS_{\text{plus_élevé,complet}}$. L'incertitude U_{complet_i} est appliquée parce que les deux valeurs de DAS ont été sélectionnées comme étant les valeurs les plus élevées de DAS dans leurs bandes de fréquences et modulations respectives sur la base des mesurages rapides de DAS. En d'autres termes, il existe une incertitude (U_{rapide_i}) dans les valeurs de DAS rapide mesurées ($DAS_{\text{max,rapide}_i}$) qui ont été utilisées à l'Étape b) pour sélectionner les mesurages complets de DAS à effectuer, et il existe une incertitude (U_{complet_i}) dans les mesurages complets de DAS.

- f) Utiliser la méthode complète de DAS pour mesurer d'autres configurations d'essai quelconques qui n'ont pas été soumises à l'essai par la méthode rapide de DAS à l'Étape a) et ne sont pas exclues de l'essai selon la présente Norme ou par des réglementations nationales applicables. Cela comprend l'assurance que les exigences de 6.3, Étape 2) sont satisfaites en ce qui concerne l'essai de toutes les bandes de fréquences et de tous les canaux de fréquences exigés dans la bande de fréquences applicable en utilisant la procédure de 6.6.3.

6.6.3 Essai rapide de DAS de bandes de fréquences exigées

Si les procédures rapides de DAS de 6.6.2 sont appliquées, une procédure pour assurer que toutes les bandes de fréquences et tous les canaux de fréquences exigés de 6.3 ont été soumis à l'essai consiste à appliquer les étapes suivantes. Noter que le positionnement du DUT est essentiel pour la mise en œuvre de cette procédure.

- Identifier toutes les configurations d'essai dans lesquelles des mesurages rapides de DAS ont été effectués au canal qui est le plus proche du centre de la bande de fréquence d'émission et si l'essai dans la bande de fréquences applicable n'a pas été réalisé.
- Grouper conjointement toutes les configurations d'essai déterminées à l'Étape a), indépendamment de la bande de fréquences ou modulation, et trier celles-ci dans l'ordre décroissant du rapport $R_k = DAS_{\text{rapide}_k} / DAS_{\text{limite}}$ (où DAS_{limite} est la limite applicable de DAS pour cette configuration d'essai).
- Effectuer les mesurages complets de DAS (selon la procédure de 6.4.2, un balayage de surface réduit tel que décrit en 6.6.2, Étape b) peut être utilisé) sur chaque configuration d'essai identifiée à l'Étape b) selon la séquence $k = 1, 2, 3$, etc. (sauf si ce mesurage a été réalisé précédemment) lorsque la k -ème configuration à mesurer satisfait à la condition de la Formule (14):

$$DAS_{\text{rapide}_k} \geq R_{\min} \times \frac{DAS_{\text{limite}}}{2} \times \left(B_{\text{rapide}} - \sqrt{B_{\text{rapide}}^2 - 1} \right) \quad (14)$$

où $R_{\min}$ est le minimum de l'ensemble des rapports de résultats de mesure rapide de DAS et DAS complet correspondant disponibles $R_{\min} = \min \{ DAS_{\text{rapide}_k} / DAS_{\text{complet}_k} \}$,

$B_{\text{rapide}} = 1 / \left[1 - \left(1,64 \max(U_{\text{rapide}_i}) \right)^2 \right]$. En d'autres termes, B_{rapide} est la plus petite des valeurs de B_{rapide_i} dans la Formule (11) sur toutes les bandes de fréquences considérées (c'est-à-dire, celle ayant la plus grande incertitude U_{rapide_i}).

- d) Pour toutes les configurations d'essai dans lesquelles DAS_{complet} est au plus à 3 dB de la limite applicable de DAS à l'Étape c), mesurer le DAS à toutes les fréquences d'essai exigées en 6.2.5. Une méthode rapide de DAS ou la méthode complète de DAS peut être utilisée à cette fin.
- e) Si une méthode rapide de DAS a été utilisée à l'Étape d), appliquer l'Étape e) de 6.6.2 pour toutes les bandes de fréquences, tous les canaux de fréquences et les modulations pour vérifier si des mesurages complets de DAS sont exigés pour ces configurations d'essai.

6.6.4 Procédure B de mesure rapide de DAS

Cette procédure B de mesure rapide de DAS peut être appliquée si l'objectif principal de l'évaluation est de démontrer la conformité du DUT par rapport à la limite applicable de DAS lorsque la détermination exacte du DAS le plus élevé est exigée.

Les étapes suivantes doivent être appliquées lors de l'utilisation d'une procédure rapide de DAS. Avant d'appliquer cette procédure, s'assurer qu'un *contrôle du système* de la technique de DAS rapide a été effectué, en utilisant la méthode de D.4.3. Le *contrôle du système* doit être effectué dans les 24 h précédant le mesurage rapide de DAS et sur le même système de mesure de DAS qui est utilisé pour l'évaluation de DAS du combiné en essai.

- a) Utiliser la méthode rapide de DAS pour effectuer les mesurages exigés en 6.3 sur toutes les configurations d'essai disponibles, sauf si elles sont exclues de l'essai par la présente Norme ou par des réglementations nationales applicables. Cela comprend l'assurance que les exigences de 6.3, Étape 2) sont satisfaites en ce qui concerne l'essai de toutes les fréquences exigées dans la bande de fréquences applicable en utilisant la procédure de 6.6.3. Les configurations d'essai doivent être groupées séparément conformément aux N bandes de fréquences et modulations différentes évaluées.

NOTE La procédure rapide de DAS peut être utilisée pour une partie ou l'ensemble des bandes de fréquences et modulations.

- b) Pour chacune des N bandes de fréquences et modulations évaluées à l'Étape a), déterminer la configuration d'essai ayant la valeur maximale de DAS mesurée par la technique de DAS rapide, appelée $DAS_{\text{max,rapide}_i}$ ($i = 1$ à N). Utiliser la méthode complète de DAS (selon la procédure de 6.4.2) pour mesurer chacune des N configurations d'essai identifiées à cette étape, appelée $DAS_{\text{max,complet}_i}$. Sélectionner la valeur maximale parmi les N configurations d'essai, $DAS_{\text{max,complet}} = \max(DAS_{\text{max,complet}_i})$.
- c) Pour tous les N groupes de bandes de fréquences et modulations définis à l'Étape a), utiliser la méthode complète de DAS (conformément à la procédure de 6.4.2) pour mesurer toutes les autres configurations d'essai $\{i,j\}$ ($j = 1$ à M , où M est le nombre de configurations d'essai rapide de DAS dans le i -ème groupe) au canal donnant le résultat de DAS rapide le plus élevé si la condition de la Formule (15) est satisfaite:

$$DAS_{\text{rapide}_{i,j}} \geq DAS_{\text{limite}} \times \left(B_{\text{rapide}_i} - \sqrt{B_{\text{rapide}_i}^2 - 1} \right) \quad (15)$$

B_{rapide_i} est calculé conformément à la Formule (11).

U_{rapide_i} dans la Formule (11) est l'incertitude de mesure des mesurages rapides de DAS conformément à 7.4, correspondant à l'incertitude-type ($k = 1$) du bilan d'incertitude du Tableau 14.

NOTE 1 Les Formules (11) et (15) sont dérivées pour un intervalle de confiance à 95 % où $DAS_{\text{rapide}_{i,j}} \leq DAS_{\text{limite}}$.

Cet intervalle de confiance est donné par: $(DAS_{\text{limite}} - DAS_{\text{rapide}_{i,j}}) - 1,64 U_{\text{rapide}_i} \sqrt{DAS_{\text{limite}}^2 + DAS_{\text{rapide}_i}^2} \leq 0$. La résolution de $DAS_{\text{rapide}_{i,j}}$ conduit aux Formules (11) et (15), où U_{rapide_i} est l'incertitude-type et a une loi gaussienne. La

valeur de 1,64 est le facteur pour un intervalle de confiance unilatéral à 95 % d'une variable aléatoire à loi gaussienne.

NOTE 2 L'essai complet de DAS peut être limité au canal donnant le résultat de DAS rapide le plus élevé uniquement lorsque des distributions relatives de DAS entre des canaux sont identiques. Sinon l'essai complet de DAS pour tous les canaux est nécessaire. Dans certains cas spécifiques (par exemple, des signaux à bande étroite), une comparaison visuelle des points ou tracés de mesure de DAS pour différents canaux peut être appliquée pour s'assurer que les distributions de DAS sont identiques.

- d) Pour tous les mesurages complets de DAS effectués aux Étapes b) et c), calculer et enregistrer le $R_{i,j}$ conformément à la Formule (16):

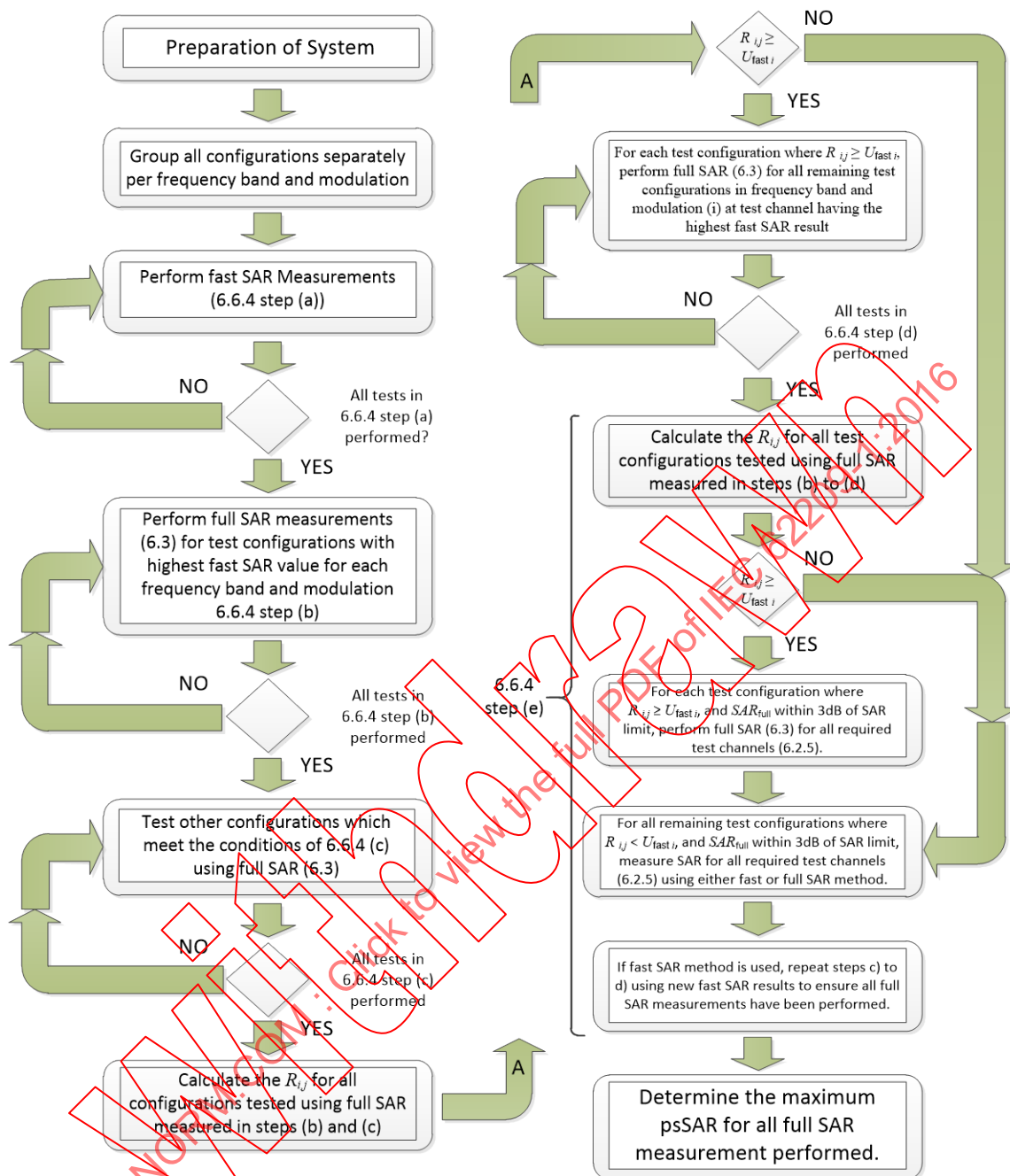
$$R_{i,j} = \frac{|DAS_{rapide\,i,j} - DAS_{complet\,i,j}|}{DAS_{complet\,i,j}} \quad (16)$$

Pour tout $R_{i,j} \geq U_{rapide\,i}$, effectuer des mesurages complets de DAS pour les autres configurations d'essai dans cette bande de fréquences et modulation $\{i\}$, où le canal d'essai pour chaque configuration d'essai doit être le canal ayant le résultat de DAS rapide le plus élevé pour cette configuration d'essai (le canal d'essai peut être différent pour chaque configuration d'essai). Le résultat de DAS rapide doit être mesuré à nouveau avec un DAS complet, à moins qu'un mesurage complet de DAS ait déjà été effectué à une étape précédente. Noter que certaines configurations d'essai peuvent ne présenter qu'un résultat de DAS rapide, qui doit être interprété comme le résultat le plus élevé.

- e) Si $R_{i,j} \geq U_{rapide\,i}$ pour l'un quelconque des mesurages réalisés aux Étapes b) à d) où $DAS_{complet}$ est au plus à 3 dB de la limite applicable de DAS, effectuer des mesurages complets de DAS pour les canaux d'essai restants exigés au 6.2.5 pour la combinaison bande de fréquences/modulation et position d'essai $\{i,j\}$. De plus, pour toutes les configurations d'essai restantes dans lesquelles $R_{i,j} < U_{rapide\,i}$ et $DAS_{complet}$ est au plus à 3 dB de la limite applicable de DAS, mesurer le DAS à tous les canaux d'essai exigés en utilisant une méthode rapide de DAS ou la méthode complète de DAS. Si une méthode rapide de DAS est utilisée, les Étapes c) et d) doivent être répétées pour la ou les nouvelles valeurs de DAS rapide pour assurer que tous les mesurages complets de DAS nécessaires sont effectués.
- f) À partir des mesurages complets de DAS qui ont été effectués aux Étapes b), c), d) et e) désignés par $DAS_{complet\,i,j}$, choisir la valeur la plus élevée, $DAS_{plus\,élevé,complet} = \max(DAS_{complet\,i,j})$; qui comprend toutes les configurations d'essai dans le i -ème groupe, pour toutes les N bandes de fréquences et modulations évaluées.

NOTE $DAS_{plus\,élevé,complet}$ est supérieur ou égal à $DAS_{max,complet}$ obtenu à l'Étape b), suivant que l'évaluation à l'Étape c), d) ou e) a produit ou non des valeurs de DAS complet plus élevées que l'Étape b).

L'organigramme de la Figure 8 décrit la procédure B de mesure rapide de DAS.



Anglais	Français
Preparation of system	Préparation du système
Group all configurations separately per frequency band and modulation	Grouper toutes les configurations séparément conformément à la bande de fréquences et à la modulation
Perform fast SAR measurements (6.6.4 step (a))	Effectuer les mesurages rapides de DAS (6.6.4 étape (a))
NO	NON
YES	OUI
All tests in 6.6.4 step (a) performed	Tous les essais en 6.6.4 étape (a) effectués
Perform full SAR measurements (6.3) for test configurations with highest fast SAR value for each frequency band and modulation 6.6.4 step (b)	Effectuer les mesurages complets de DAS (6.3) pour les configurations d'essai avec la valeur la plus élevée de DAS rapide pour chaque bande de fréquences et modulation 6.6.4 étape (b)

Anglais	Français
All tests in 6.6.4 step (b) performed	Tous les essais en 6.6.4 étape (b) effectués
Test other configurations which meet the conditions of 6.6.4 (c) using full SAR (6.3)	Soumettre à l'essai d'autres configurations qui remplissent les conditions de 6.6.4 (c) en utilisant le DAS complet (6.3)
All tests in 6.6.4 step (c) performed	Tous les essais en 6.6.4 étape (c) effectués
Calculate the $R_{i,j}$ for all configurations tested using full SAR measured in steps (b) and (c)	Calculer le $R_{i,j}$ pour toutes les configurations soumises à l'essai en utilisant le DAS complet mesuré aux étapes (b) et (c)
For each test configuration where $R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$ perform full SAR (6.3) for all remaining test configurations in frequency band and modulation (i) at test channel having the highest fast SAR result	Pour chaque configuration d'essai dans laquelle $R_{i,j} \geq U_{\text{rapide } i}$, effectuer les mesurages complets de DAS (6.3) pour toutes les autres configurations d'essai dans la bande de fréquences et modulation (i) au canal d'essai ayant le résultat de DAS rapide le plus élevé
Calculate the $R_{i,j}$ for all test configurations tested using full SAR measured in steps (b) to (d)	Calculer le $R_{i,j}$ pour toutes les configurations d'essai soumises à l'essai en utilisant le DAS complet mesuré aux étapes (b) à (d)
$R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$	$R_{i,j} \geq U_{\text{rapide } i}$
For each test configuration where $R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$ and SAR_{full} within 3dB of SAR limit, perform full SAR (6.3) for all required test channels (6.2.5)	Pour chaque configuration d'essai dans laquelle $R_{i,j} \geq U_{\text{rapide } i}$ et DAS_{complet} est au plus à 3 dB de la limite de DAS, effectuer les mesurages complets de DAS (6.3) pour tous les canaux d'essai exigés (6.2.5)
For all remaining test configurations where $R_{i,j} \geq U_{\text{fast } i}$ and SAR_{full} within 3dB of SAR limit, measure SAR for all required test channels (6.2.5) using either fast or full SAR method	Pour toutes les autres configurations d'essai dans lesquelles $R_{i,j} \geq U_{\text{rapide } i}$ et DAS_{complet} est au plus à 3 dB de la limite de DAS, mesurer le DAS pour tous les canaux d'essai exigés (6.2.5) en utilisant la méthode rapide ou complète de DAS
If fast SAR method is used, repeat steps c) to d) using new fast SAR results to ensure all full SAR measurements have been performed	Si la méthode rapide de DAS est utilisée, répéter les étapes c) à d) en utilisant les nouveaux résultats de DAS rapide afin d'assurer que tous les mesurages complets de DAS ont été effectués
6.6.4 step (e)	6.6.4 étape (e)
Determine the maximum psSAR for all full SAR measurement performed	Déterminer le DAS maximal moyenné le plus élevé pour tous les mesurages complets de DAS effectués

Figure 8 – Procédure B de mesure rapide de DAS

6.7 Réduction d'essai de DAS

6.7.1 Exigences générales

Le nombre d'essais de mesure de DAS exigé pour identifier la configuration donnant le DAS maximal moyenné le plus élevé pour un DUT pouvant émettre dans plusieurs bandes et avec différentes configurations d'utilisation peut être élevé. C'est également le cas si le DUT peut être utilisé avec différents accessoires. Le temps de mesure total exigé pour soumettre à l'essai un dispositif de communication personnel sans fil peut être réduit en utilisant des techniques de mesure rapides qui réduisent le temps de mesure de chaque essai ou en réduisant directement le nombre d'essais à réaliser. La première approche est décrite en 6.6 et la seconde approche est décrite en 6.7. La combinaison des techniques de réduction d'essai avec les mesurages rapides de DAS exige d'autres investigations qui seront prises en compte dans les versions futures de la présente Norme. Les méthodes de réduction d'essai de DAS appliquées pendant les essais doivent faire l'objet de rapport comme décrit en 8.2, Étape f).

Le paragraphe 6.7 décrit d'autres approches pour réduire le nombre d'essais. Ces approches sont:

- réduction d'essai pour différents modes de fonctionnement à la même bande de fréquences d'essai en utilisant la même technologie sans fil;
- réduction d'essai basée sur les caractéristiques de conception du DUT;
- réduction d'essai basée sur l'analyse de niveau de DAS maximal;
- réduction d'essai basée sur des considérations d'émission multibande simultanée.

Des mesurages complets de DAS doivent être réalisés pour évaluer chaque approche de réduction d'essai.

NOTE 1 Par exemple GSM, GPRS et EDGE (tous utilisant la modulation GMSK) sont définis comme appartenant à même technologie sans fil contrairement à GSM et UMTS.

NOTE 2 Les procédures de réduction d'essai de DAS décrites en 6.7 permettent aux utilisateurs de la présente Norme de réduire le temps exigé pour les essais. Ces autres essais ne sont pas obligatoires, l'utilisateur de la présente Norme reste libre de les appliquer ou d'appliquer la procédure de mesure complète de DAS normalisée décrite de 6.1 à 6.5.

6.7.2 Réduction d'essai pour différents modes de fonctionnement dans la même bande de fréquences en utilisant la même technologie sans fil

Si différents modes de fonctionnement (mod_X , mod_Y , etc.) fonctionnent à la même bande de fréquences, des procédures peuvent être utilisées dans certains cas pour réduire le nombre de mesurages pour les modes de fonctionnement à faible puissance (mod_Y , etc.) sans compromettre la fiabilité de l'essai pour une exposition maximale. Les procédures peuvent être appliquées si les conditions suivantes sont remplies.

- a) Le même étage d'amplificateur RF est utilisé pour mod_X et mod_Y .
- b) La même antenne est utilisée pour mod_X et mod_Y .
- c) Aucune technique MIMO (entrées multiples et sorties multiples) n'est appliquée pour mod_X et mod_Y .
- d) La même technologie sans fil est utilisée pour mod_X et mod_Y .
- e) Soit la même modulation de signal est utilisée et cette modulation a une amplitude constante, ou la puissance de sortie moyennée de mod_Y est au moins 2 dB au-dessous de la puissance de sortie de mod_X .
- f) L'étalonnage de sonde DAS est valide à la fois pour mod_X et mod_Y (c'est-à-dire, le certificat d'étalonnage de sonde définit la validité et l'incertitude de l'étalonnage applicable à la fois à mod_X et mod_Y).
- g) Le même système de mesure de DAS (sonde, fantôme, liquide, électronique) est utilisé pour tous les modes de fonctionnement.
- h) La fréquence porteuse RF de mod_X est la même que pour mod_Y .
- i) Le rapport de largeur de bande de canal (R_m) de mod_X et mod_Y satisfait à la Formule (17):

$$R_m = \left| \frac{BW_{\text{mod}_Y}}{BW_{\text{mod}_X}} - 1 \right| \leq 0,3 \quad (17)$$

Afin de réduire le nombre d'essais exigés, la procédure suivante peut être appliquée si toutes les conditions ci-dessus sont remplies:

NOTE GSM et GPRS utilisent GMSK, qui est une modulation d'amplitude constante; par conséquent, la puissance de sortie maximale moyennée par rapport au nombre maximal d'intervalles de temps utilisés dans chaque mode de fonctionnement peut être utilisée pour déterminer le mode de fonctionnement le plus prudent pour l'essai de DAS. De manière similaire, EGPRS (qui utilise GMSK et 8PSK) peut être inclus avec GSM et GPRS dans cette détermination du mode de fonctionnement le plus prudent pour l'essai de DAS en raison de ses similarités intrinsèques avec GSM et GPRS. D'autre part, WiMAX utilise OAMRF avec un rapport puissance de crête à puissance moyenne élevé s'il est attendu que l'erreur de mesure de DAS varie avec la puissance.

- Étape 1 Essai de tous les modes de fonctionnement (mod_x , mod_y , etc.) dans l'une quelconque des configurations d'essai normalisé (par exemple, oreille gauche, position de toucher).
- Étape 2 Essai complet dans toutes les configurations d'essai normalisé du mode de fonctionnement qui a la valeur la plus élevée de DAS à l'Étape 1.
- Étape 3 Essai complet dans toutes les configurations d'essai normalisé de tous les autres modes de fonctionnement évalués à l'Étape 1, pour lesquels les deux conditions suivantes s'appliquent:
- le DAS mesuré à l'Étape 1 pour le mode de fonctionnement à l'étude est au plus à 15 % de la valeur de DAS mesurée à l'Étape 1 du mode de fonctionnement de DAS le plus élevé (c'est-à-dire, le mode de fonctionnement choisi pour utilisation à l'Étape 2), et
 - le DAS le plus élevé à l'Étape 2 est au plus à 15 % de la limite applicable de DAS.

La marge de 15 % correspond approximativement à la moitié de l'incertitude de mesure élargie maximale en 7.3.2.

6.7.3 Réduction d'essai basée sur des caractéristiques de conception de DUT

Il existe une large plage de conceptions différentes de téléphones mobiles sur le marché. L'analyse de données DAS à l'Article L.2 a montré que les principes suivants de réduction et d'exclusion d'essai peuvent être appliqués pour des téléphones mobiles avec des antennes à montage interne et des fréquences de fonctionnement entre 800 MHz et 2 GHz. Ces critères sont basés sur les emplacements d'antenne dans un combiné et les différents modèles de combinés. Une extension au-dessus de 2 GHz serait envisagée si des données d'appui supplémentaires deviennent disponibles.

Pour un DUT avec une antenne interne montée en bas (c'est-à-dire, une antenne interne montée dans la moitié de la base du DUT) qui est totalement incorporée à 2,5 cm au plus du bas du dispositif, lorsque le DAS maximal moyenné le plus élevé de la position "joue" pour une bande de fréquences et un mode de fonctionnement est au moins à 3 dB de la limite de DAS, l'essai dans la position inclinée n'est pas exigé. Pour les autres emplacements d'antenne, lorsque le DAS mesuré en position inclinée en utilisant le canal soumis à l'essai de DAS le plus élevé pour la position "joue" est inférieur ou égal à 3 dB au-dessous de la limite de DAS, l'essai des autres canaux exigés pour la position inclinée n'est pas exigé.

Les conditions suivantes relatives à plusieurs modes de communication au sein de la même technologie sans fil et des mêmes bandes de fréquences doivent être remplies pour appliquer la procédure de réduction d'essai de 6.7.3.

- a) Le même circuit RF est utilisé (émetteur, point d'alimentation de l'antenne, éléments d'adaptation, etc.).
- b) La même antenne ou mise à la terre de l'antenne est utilisée.
- c) Aucune technique MIMO (entrées multiples et sorties multiples) n'est appliquée.
- d) Le même système de mesure de DAS (sonde, fantôme, liquide, électronique) est utilisé.

Quand le DAS n'est pas mesuré à la puissance de sortie maximale la plus élevée autorisée pour le dispositif, les exigences réglementaires peuvent imposer que le DAS en position "joue" et en position inclinée soit mis à l'échelle à la puissance de sortie maximale la plus élevée en vue d'appliquer le seuil applicable pour la détermination de la réduction d'essai. Pour appliquer une réduction d'essai supplémentaire pour le DUT en utilisant la même antenne interne montée en bas pour plusieurs modes de communication au sein de la même technologie sans fil et des mêmes bandes de fréquences, sélectionner le système de communication avec la puissance de sortie maximale moyennée la plus élevée et effectuer la procédure d'essai complet de DAS, y compris toutes les configurations et positions d'essai spécifiées en 6.3. L'essai dans des positions inclinées pour d'autres systèmes de

communication au sein de cette même bande de fréquences n'est pas exigé, quel que soit le niveau de DAS en position(s) "joue", si les deux conditions suivantes sont remplies.

- 1) La position "joue" a la valeur de DAS maximal moyenné la plus élevée pour une bande de fréquences.
- 2) Les valeurs de DAS maximal moyenné pour les configurations dans la position inclinée sont au moins à 30 % au-dessous de la limite de DAS.

Le rapport d'essai de DAS doit comprendre des dessins ou des photos représentant la configuration et les emplacements d'antennes dans le DUT et décrivant les modes de fonctionnement sans fil applicables pour chaque antenne afin d'étayer la réduction et l'exclusion d'essai envisagées. Si la réduction d'essai relative à des dispositifs avec la même antenne interne montée en bas pour plusieurs systèmes de communication au sein d'une même bande de fréquences doit être appliquée, l'antenne et les circuits d'adaptation RF et d'antenne doivent être décrits pour chaque système de communication dans le rapport d'essai de DAS.

L'Article L.2 présente la justification et les informations d'appui pour l'analyse effectuée pour étayer ces principes de réduction et d'exclusion d'essai.

6.7.4 Réduction d'essai basée sur l'analyse de niveau de DAS

Cette approche de réduction d'essai a pour objet d'éliminer la session de "balayage-zoom" pour chaque essai de mesure individuel (6.4.2, Étape d) lorsque le DAS maximal mesuré du "balayage de surface" est au-dessous d'un seuil en veillant à ce que la valeur de DAS maximal moyenné la plus élevée soit:

- correctement évaluée et non sous-estimée, en particulier si elle peut générer un DAS maximal moyenné proche de la limite de restriction de base;
- correctement identifiée, même si la session de "balayage-zoom" n'est pas exécutée.

NOTE Cette procédure de réduction d'essai est différente de la procédure rapide de DAS décrite en 6.6. Dans ce protocole de réduction d'essai, la décision d'appliquer la procédure de mesure complète ("mesurage complet de DAS") est prise après avoir examiné les valeurs mesurées à partir du balayage de surface (pas le DAS maximal moyenné final). De plus, une valeur de seuil est nécessaire étant donné que l'objectif est d'éviter le balayage-zoom pour des configurations de mesure particulières et de ne pas dépendre d'un algorithme de DAS rapide particulier pour estimer le DAS maximal moyenné.

La justification et les études soutenant cette approche de réduction d'essai sont présentées à l'Article L.3. Ces études concernent des combinés fonctionnant dans les bandes GSM900/DCS1800 et UMTS I. Le protocole décrit ci-dessous est applicable uniquement aux modes de fonctionnement et bandes de fréquences particuliers ci-dessus (par exemple, il ne s'applique pas aux modes GSM850, PCS1900 ou GPRS), et ne s'applique pas à l'essai de conformité d'émissions multiples (6.4.3). Les paramètres d'espacement de grille de balayage de surface utilisés pour les études de l'Article L.3 sont tous deux (directions x et y) définis à 10 mm, ainsi ils satisfont aux exigences décrites dans la présente Norme. Les balayages de surface ont été effectués à une distance spécifiée fixe représentant un espacement de 4 mm entre les capteurs de la sonde et la surface interne du fantôme SAM.

Lors de l'application du protocole décrit ci-dessous, il est nécessaire:

- 1) d'ajuster les paramètres de "balayage de surface" spécifiés dans le Tableau 1 afin d'utiliser un espacement de grille ne dépassant pas 10 mm;
- 2) d'effectuer les balayages de surface à une distance maximale fixe de 4 mm entre les points mesurés (centre géométrique des capteurs) et la surface interne du fantôme.

Le protocole de réduction d'essai monobande (valable pour chaque mode de fonctionnement pris en charge par le DUT) est décrit ci-dessous.

- a) Mesurer le DAS local comme décrit en 6.4.2, Étape a).

- b) Effectuer la procédure de balayage de surface pour une des positions définies en 6.2.4, à la fréquence centrale de la bande en question, comme indiqué dans le schéma de mesure complet décrit en 6.4.2.
- c) Déterminer le DAS maximal du balayage de surface. Celui-ci est défini comme étant le premier DAS maximal absolu (APS: absolute peak SAR).
- d) Effectuer le balayage-zoom, comme indiqué dans le schéma de mesure complet décrit en 6.4.2. Évaluer et gérer la dérive de mesure comme indiqué en 6.4.2, Étape f).
- e) Pour toutes les autres positions et tous les autres canaux de fréquences à soumettre à l'essai, répéter les Étapes 1) à 5) suivantes:
 - 1) Mesurer le DAS local comme décrit en 6.4.2, Étape a).
 - 2) Effectuer la procédure de balayage de surface comme indiqué dans le schéma de mesure complet décrit en 6.4.2, Étape b).
 - 3) Évaluer le DAS maximal du balayage de surface; si cette valeur est supérieure à l'APS, déterminé à l'Étape c), l'APS doit alors être attribué à la valeur de DAS maximal du balayage de surface obtenue dans cette Étape 3), après exécution de l'Étape 4).
 - 4) Effectuer le balayage-zoom exigé par 6.4.2 si le DAS maximal de balayage de surface n'est pas inférieur à 1,3 W/kg (80 % de 1,6 W/kg) ou si le DAS maximal est supérieur ou égal à $TH(f) \times APS$, où la valeur de seuil $TH(f)$ qui dépend de la fréquence est définie dans le Tableau 4 ci-dessous et APS est le DAS maximal absolu. S'il est exigé de mesurer des valeurs de crête multiples (comme décrit en 6.4.2, Étape c)), appliquer cette étape à toutes les valeurs de crête.
 - 5) Évaluer la dérive de mesure comme indiqué en 6.4.2, Étape f). Si la dérive est supérieure à 5 %, la dérive doit être traitée comme indiqué en 6.4.2, Étape f).

Les sous-étapes 1) à 5) de l'Étape e) décrites ci-dessus doivent être effectuées de façon séquentielle pour toutes les bandes applicables. Les valeurs de seuil utilisées à l'Étape e), Sous-étape 4), qui dépendent de la fréquence, sont résumées dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Valeurs de seuil $TH(f)$ utilisées dans le protocole de réduction d'essai proposé

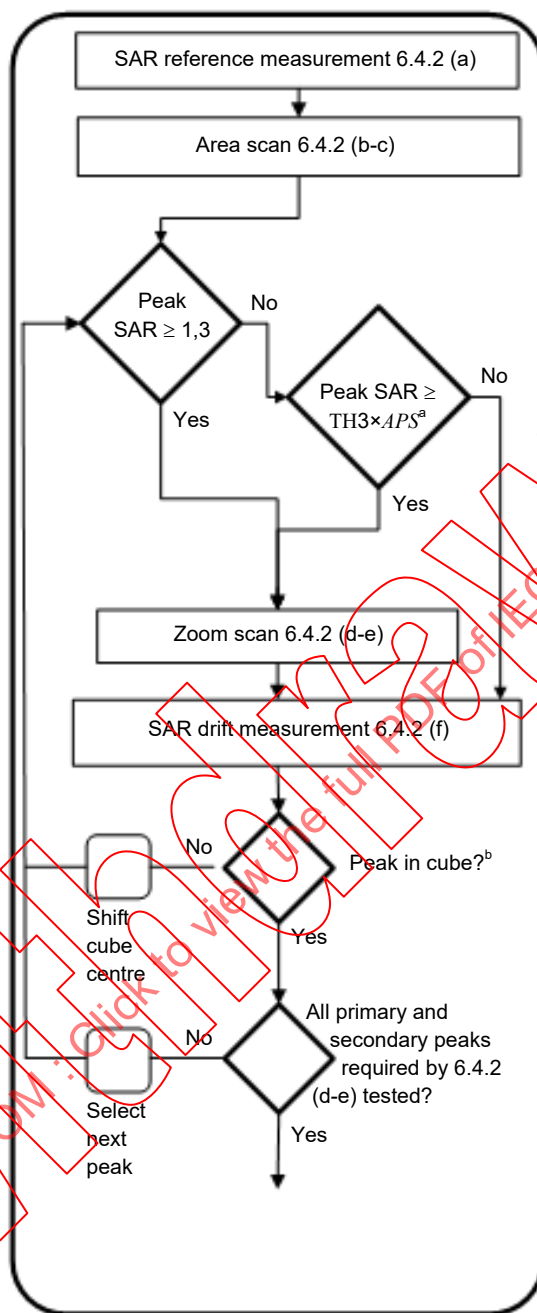
Mode de fonctionnement	$TH(f)$
GSM900	0,75
UMTS VI ^a	0,75
DCS1800	0,60
UMTS IX ^a	0,60
UMTS I	0,60

^a Les Bandes VI et IX de 3GPP UMTS-FDD ont des fréquences de liaison montante très proches de GSM900 et DCS1800 respectivement. Même si seuls les dispositifs fonctionnant dans les bandes GSM900, DCS1800 et UMTS I ont été pris en compte dans l'Article L.2, les seuils ci-dessus doivent être appliqués pour la Bande VI de UMTS-FDD et la Bande IX de UMTS-FDD.

Lorsque la procédure actuelle de réduction d'essai est suivie:

- Le schéma de principe à gauche de la Figure 5 doit être appliqué.
- Le schéma de principe à droite de la Figure 5 ne doit être appliqué que pour le premier mesurage de DAS. Des mesurages de DAS ultérieurs doivent être effectués selon la Figure 9, qui est une modification de la procédure décrite à la Figure 5.

Measurement 6.4.2 modified



IEC

^a APS = DAS maximal absolu. Voir 6.7.4.

^b Appliquer cette étape seulement si le balayage-zoom a été effectué.

Anglais	Français
Measurement 6.4.2 modified	Mesurage 6.4.2 modifié
SAR reference measurement 6.4.2 (a)	Mesurage de référence de DAS 6.4.2 (a)
Area scan 6.4.2 (b-c)	Balayage de surface 6.4.2 (b-c)
Peak SAR $\geq 1,3$	DAS maximal $\geq 1,3$
Peak SAR $\geq TH \times APS$	DAS maximal $\geq TH \times APS$
Yes	Oui
No	Non

Anglais	Français
Zoom scan 6.4.2 (d-e)	Balayage-zoom 6.4.2 (d-e)
SAR drift measurement 6.4.2 (f)	Mesurage de dérive de DAS 6.4.2 (f)
Shift cube center	Déplacer le centre du cube
Peak in cube?	Maximum dans le cube ?
Select next peak	Sélectionner maximum suivant
All primary and secondary peaks required by 6.4.2 (d-e) tested?	Tous les maxima primaires et secondaires exigés par 6.4.2 (d-e) soumis à l'essai?

Figure 9 – Organigramme modifié de 6.4.2

L'Article L.3 présente la justification pour les niveaux de seuil utilisés dans le présent protocole de réduction d'essai, basé sur l'analyse spatiale du gradient de DAS.

6.7.5 Réduction d'essai basée sur des considérations d'émission multibande simultanée

Dans une émission multibande simultanée, le dispositif peut émettre dans des bandes de fréquences multiples en même temps, par exemple, une émission AMRC à bande élargie à 2 GHz et une émission de réseau local sans fil (WLAN) à 2,45 GHz. La puissance de sortie moyennée d'un émetteur secondaire (c'est-à-dire, l'émetteur de plus faible puissance, par exemple Bluetooth, WLAN) peut être beaucoup plus faible que celle de l'émetteur primaire (c'est-à-dire, l'émetteur de puissance plus élevée, par exemple, AMRC à bande élargie). Dans certains cas, l'émetteur secondaire peut être exclu de l'essai de DAS lorsqu'il est utilisé seul. Cependant, lorsque les émetteurs primaire et secondaire sont utilisés conjointement (émission simultanée), la limite de DAS peut encore être dépassée. Un moyen de détermination de la puissance de seuil pour l'émetteur secondaire qui lui permet d'être exclu de l'essai de DAS est exigé.

Une façon de déterminer le niveau de puissance de seuil pour l'émetteur secondaire ($P_{\text{disponible}}$) consiste à calculer celui-ci à partir du DAS maximal moyenné mesuré de l'émetteur primaire (DAS_1) selon la Formule (18):

$$P_{\text{disponible}} = P_{\text{max},m} \times (DAS_{\text{lim}} - DAS_1) / DAS_{\text{lim}} \quad (18)$$

où

$P_{\text{max},m}$ est le niveau de puissance d'exclusion de seuil maximal, qui est calculé par $DAS_{\text{lim}} \times m$, où m est une masse d'intégration.

Par exemple, une limite d'exposition de $DAS_{\text{lim}} = 2,0 \text{ W/kg}$ et une masse d'intégration de $m = 10 \text{ g}$ donnent une puissance d'émission totale de $P_{\text{max},m} = 20 \text{ mW}$.

Une limite d'exposition de $DAS_{\text{lim}} = 1,6 \text{ W/kg}$ et une masse d'intégration de $m = 1 \text{ g}$ donnent une puissance d'émission totale de $P_{\text{max},m} = 1,6 \text{ mW}$.

La formule ci-dessus peut aisément être généralisée au cas dans lequel plus de deux émetteurs émettent simultanément. S'il y a N émetteurs simultanés et que le DAS maximal moyenné des $N - 1$ premiers émetteurs est connu (DAS_i), alors le niveau de puissance de seuil pour le N -ième émetteur peut être dérivé de la Formule (19):

$$P_{\text{disponible}} = P_{\text{max},m} \times (DAS_{\text{lim}} - \sum_{i=1}^{N-1} DAS_i) / DAS_{\text{lim}} \quad (19)$$

NOTE L'applicabilité de seuils de puissance tels que définis à l'Annexe B de l'IEC 62479:2010 pour remplacer $P_{\text{max},m}$ dans le cas où (i) le DUT est mesuré à l'oreille du SAM et (ii) les parties rayonnantes du DUT sont à moins

de 5 mm de la surface du fantôme est actuellement à l'étude. La définition de nouveaux seuils de puissance pour une telle configuration est nécessaire.

7 Estimation des incertitudes

7.1 Considérations générales

7.1.1 Concept pour l'estimation des incertitudes

Les concepts pour l'estimation des incertitudes dans le mesurage du DAS de dispositifs sans fil sont basés sur les règles générales décrites dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008 pour l'expression de l'incertitude de mesure [68]. Cependant, l'estimation des incertitudes pour des mesurages complexes reste une tâche difficile et exige des connaissances d'ingénierie spécifiques et de haut niveau. Afin de faciliter cette tâche, des lignes directrices et des formules d'approximation sont présentées dans l'Article 7 afin de permettre l'estimation de chaque composante individuelle de l'incertitude. Le concept est conçu pour produire l'incertitude du système pour la plage entière de fréquences de 300 MHz à 6 GHz et pour tout dispositif en essai relevant du domaine d'application de la présente Norme. L'évaluation de l'incertitude décrite dans l'Article 7 est également conçue pour être généralement applicable aux systèmes de mesure de DAS conformes aux exigences de la présente Norme. Toutefois, certains systèmes de mesure peuvent exiger une analyse supplémentaire de l'incertitude. Étant donné que les incertitudes couvrent une large plage de dispositifs relevant de ce domaine d'application, l'incertitude peut être surestimée pour certaines composantes afin de ne pas sous-estimer l'incertitude de mesure, mais permet des approximations, comme décrit dans l'Article 7.

Il doit être noté qu'il n'est pas suffisant de produire uniquement le Tableau 11 sans disposer d'une documentation détaillée de l'estimation de chaque grandeur d'influence comprenant la méthodologie, l'évaluation des données pour chaque composante, ainsi que la méthode selon laquelle l'incertitude a été dérivée de l'ensemble de données.

7.1.2 Évaluations de type A et de type B

Les deux évaluations, de type A et de type B, de l'incertitude-type doivent être utilisées. L'évaluation de l'incertitude par l'analyse statistique d'une série d'observations est appelée évaluation d'incertitude de type A. L'évaluation de l'incertitude par des moyens autres que l'analyse statistique d'une série d'observations est appelée évaluation d'incertitude de type B. Chaque composante de l'incertitude, cependant évaluée, est représentée par un écart-type estimé, appelé incertitude-type, qui est déterminé par la racine carrée positive de la variance estimée.

Quand une analyse de type A est effectuée, l'incertitude-type u_i doit être déduite en utilisant l'écart-type estimé des observations statistiques. Lorsqu'une analyse de type B est effectuée, u_i provient des limites haute a_+ et basse a_- de la grandeur en question, selon la fonction de loi de probabilité utilisée définissant $a = (a_+ - a_-)/2$, alors:

- loi rectangulaire: $u_i = a/\sqrt{3}$
- loi triangulaire: $u_i = a/\sqrt{6}$
- loi normale: $u_i = a/k$
- loi en U (asymétrique): $u_i = a/\sqrt{2}$

où

a est la demi-longueur de l'intervalle établi par les limites de la grandeur d'influence;

k est le facteur d'élargissement;

u_i est l'incertitude-type.

Des écarts-types prédéterminés basés sur un nombre plus grand d'essais répétés peuvent être utilisés pour estimer les composantes de l'incertitude dans des cas où le système, la méthode, la configuration et les conditions, etc. sont représentatifs du DUT spécifique [145].

7.1.3 Degrés de liberté et facteur d'élargissement

Lorsque le nombre de degrés de liberté est inférieur à 30, un facteur d'élargissement de 2 n'est pas le facteur multiplicatif approprié pour atteindre un niveau de confiance de 95 % [21]. Une méthode simple mais seulement approximativement correcte est l'utilisation de la loi de Student avec t à la place du facteur d'élargissement k . Les écarts-types de la loi de t sont plus étroits que pour les lois normales (gaussiennes), mais approchent la forme gaussienne pour un grand nombre de degrés de liberté. Les degrés de liberté pour la plupart des incertitudes-types sur la base des évaluations de type B peuvent être par hypothèse infinis [141]. Ainsi le nombre de degrés de liberté effectifs d'une incertitude-type composée, u_c , dépend principalement des degrés de liberté des contributions de type A et de leur amplitude par rapport aux contributions de type B. Le facteur d'élargissement k_p pour les petites populations d'échantillons doit être déterminé par la Formule (20):

$$k_p = t_p(v_{\text{eff}}) \quad (20)$$

où

k_p est le facteur d'élargissement pour une probabilité donnée p ;

$t_p(v_{\text{eff}})$ est la loi de t ;

v_{eff} est le nombre de degrés de liberté effectifs estimé en utilisant la Formule de Welch-Satterthwaite:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{v_i}} \quad (21)$$

c_i est le coefficient de sensibilité de chaque composante de l'incertitude u_i ;

v_i est le nombre de degrés de liberté de chaque composante de l'incertitude u_i .

L'indice p fait référence au niveau de confiance approximatif, par exemple 95 %. Des tables de valeurs $t_p(v_{\text{eff}})$ sont disponibles, par exemple dans NIST TN1297 [121].

NOTE À titre d'exemple, l'incertitude-type composée calculée en utilisant la Formule (21) à partir de toutes les grandeurs d'influence du Tableau 11 (Colonne h) est $u_c = 13,9$ % avec des valeurs hypothétiques de tolérances de positionnement et de support de 6,0 % et 5,0 %. À partir de la Formule (21) et du Tableau 11, Colonnes f , h , et k , les degrés de liberté effectifs pour l'incertitude-type composée sont $v_{\text{eff}} = 136$ ainsi $k = 2$ s'applique dans ce cas et l'incertitude élargie est $U = 2 \times 13,9$ % = 27,8 %. Afin de représenter l'effet de variations de composantes spécifiques, un exemple extrême porte sur les incertitudes-types pour des variations de positionnement et de support de 22 % et 15 % respectivement, avec des degrés de liberté égaux à cinq pour chaque ($v_i = 5$). Alors $u_c = 29,0$ %, $v_{\text{eff}} = 25$, $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} \approx t_{95,45} = 2,11$ [121], et l'incertitude élargie $U = 2,11 \times 29,0$ % = 61,2 %.

7.2 Composantes contribuant à l'incertitude

7.2.1 Généralités

Chaque composante de l'incertitude qui dépend de la fréquence doit être évaluée dans la bande de fréquences où l'évaluation de DAS est effectuée. Pour les modes de fonctionnement dans une plage de fréquences donnée, la contribution à l'incertitude est la valeur la plus élevée obtenue dans cette plage de fréquences.

7.2.2 Étalonnage des sondes de DAS

7.2.2.1 Généralités

Un protocole pour l'évaluation des coefficients d'étalonnage de sonde de DAS et l'estimation de l'incertitude est donné en Annexe B. L'incertitude de la sensibilité de sonde doit être estimée en partant de l'hypothèse d'une loi de probabilité normale.

7.2.2.2 Isotropie de la sonde

L'isotropie de sonde de champ E est une mesure de l'écart de la réponse de sonde à une polarisation de champ arbitraire. En général, les champs émis par un combiné ont une polarisation arbitraire. Cependant, les champs induits dans le liquide équivalent aux tissus ont une composante de polarisation prédominante parallèle à la surface du fantôme, en raison de la physique du mécanisme d'absorption [138]. L'incertitude d'isotropie hémisphérique ($u_{\text{isotropie-hémisphérique}}$) est associée à une polarisation de champ arbitraire (comprend une incertitude d'isotropie axiale) et une incertitude d'isotropie axiale ($u_{\text{isotropie-axiale}}$) est associée à des champs perpendiculaires à l'axe de sonde.

L'isotropie de la sonde doit être mesurée selon le protocole défini dans l'Annexe B. L'incertitude due à l'isotropie ($u_{\text{isotropie}}$) doit être estimée avec une loi de probabilité rectangulaire donnée par la Formule (22):

$$u_{\text{isotropie}}[\%] = 100 \times \sqrt{(1 - w_i) \times [u_{\text{isotropie-axiale}}]^2 + w_i \times [u_{\text{isotropie-hémisphérique}}]^2} \quad (22)$$

où w_i est le facteur de pondération pour prendre en compte les angles d'incidence du champ autour d'une sphère imaginaire englobant l'extrémité de la sonde.

Si pendant le mesurage, l'orientation de la sonde est essentiellement perpendiculaire à la surface (à $\pm 30^\circ$ lorsque $f \leq 3$ GHz et à $\pm 20^\circ$ lorsque $3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$), alors $w_i = 0,5$. Sinon, $w_i = 1$ (c'est-à-dire que l'incertitude d'isotropie hémisphérique domine).

7.2.2.3 Linéarité et limites de détection de sonde

Étant donné que la réponse non linéaire de la sonde ne dépend pas du milieu environnant mais uniquement des capteurs de la diode, l'évaluation des fonctions de linéarisation $f_i(V_i)$ pour un signal CW peut être effectuée dans l'espace libre ou dans le liquide équivalent aux tissus (pour les signaux modulés, utiliser la procédure décrite en 7.2.2.4). Cela est effectué par un balayage de puissance couvrant la plage de détection de DAS spécifiée ou une plage au moins de 0,12 W/kg à 100 W/kg par des pas de 3 dB ou moins. Des petites cellules TEM ou guides d'ondes sont préférables, étant donné que des intensités de champ élevées peuvent être produites avec des amplificateurs de moyenne puissance. L'incertitude de linéarité est définie comme étant l'écart maximal de DAS en fonction de la caractéristique de puissance à partir de la droite de meilleur ajustement de référence passant par zéro ($DAS = a \cdot P$, où a est la pente de meilleur ajustement, en utilisant la méthode des moindres carrés) définie sur l'intervalle de 0,12 W/kg à 100 W/kg. L'incertitude de linéarité pour un signal CW est déterminée comme suit:

$$DAS_{\text{incertitude de linéarité}}[\%] = \max_{j \in \{x, y, z\}} \left(\max_{DAS(P_i)_{CW_j} = 0,12 \text{ W/kg}}^{DAS(P_i)_{CW_j} = 100 \text{ W/kg}} \left(100 \times \left| \frac{DAS(P_i)_{CW_j}}{P_i \cdot a} - 1 \right| \right) \right) \quad (23)$$

Dans ce cas, $DAS(P_i)_{CW_j}$ est le DAS mesuré pour un signal CW au i -ème niveau de puissance, P_i . L'indice j fait référence aux capteurs de champ pour lesquels la procédure doit être répétée. Une loi de probabilité rectangulaire est retenue pour l'incertitude de linéarité de sonde dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13.

NOTE À des niveaux de DAS aussi élevés que 100 W/kg, la température du liquide peut augmenter significativement, ce qui cause des écarts de paramètres diélectriques. Afin d'éviter ce problème, il convient de veiller à assurer que le liquide soit exposé à des niveaux de DAS élevés uniquement pendant de courtes périodes.

L'incertitude de limite de détection de sonde est déterminée en comparant le DAS mesuré (DAS_{mes}) à un niveau de puissance de référence P_{ref} avec la valeur du DAS de référence, $DAS_{ref} = a \cdot P_{ref}$, au même niveau de puissance, en utilisant la pente de meilleur ajustement telle que déterminée ci-dessus.

$$U_{\text{limite de détection}} [\%] = 100 \times \left| \frac{DAS_{mes}}{DAS_{ref}} \right| = 100 \times \left| \frac{DAS_{mes}}{a \cdot P_{ref}} \right| \quad (24)$$

Le niveau de puissance de référence P_{ref} doit être choisi de sorte que le rapport signal sur bruit (déterminé au moment du mesurage) soit de 6 dB. Cela doit être vérifié en utilisant les données du balayage de puissance. Une loi de probabilité rectangulaire doit être retenue pour l'incertitude de limite de détection dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13.

7.2.2.4 Réponse de modulation de sonde

Les réponses de capteur de sonde à des signaux modulés qui sont basés sur des détecteurs à diode peuvent être complexes car les diodes sont des éléments considérablement non linéaires. La théorie de réponse de la diode pour les signaux complexes a été spécifiée par Nadakuduti et al. [116]. Il convient de déterminer les paramètres de linéarisation pour une modulation particulière par étalonnage expérimental relatif, c'est-à-dire, le balayage de puissance à cette modulation particulière, comme décrit à l'Article B.2. Les paramètres de linéarisation doivent être déterminés séparément pour chaque capteur.

L'incertitude suivante peut être déterminée en utilisant une source quelconque (par exemple, un guide d'ondes ou dipôle) avec une configuration équivalente à celle décrite à la Figure D.1. La configuration de génération de signal doit simuler la modulation pour laquelle l'incertitude est déterminée selon la spécification de la norme de système de communication. La puissance doit être augmentée pour une tension de capteur de sonde équivalente à moins de $P_0 = 0,1$ W/kg à l'équivalent de plus de 10 W/kg pour le capteur évalué par pas de 5 dB. À chaque niveau de puissance, le DAS doit être mesuré avec le signal modulé et avec CW à la même puissance efficace (la vérification que le wattmètre utilise un détecteur de valeur efficace vraie et que l'amplificateur est suffisamment linéaire pour la dynamique totale du signal est exigée). Cette procédure doit être répétée pour chaque capteur de champ.

La Formule (25) est utilisée pour déduire l'incertitude de modulation d'une modulation particulière mod_x .

$$DAS_{\text{incertitude de modulation}_x} [\%] = \max_{j \in \{x, y, z\}} \left(\max_{P_i = P_0}^{P_0 + 20 \text{ dB}} \left(100 \times \left| \frac{DAS(P_i)_{mod_x_j}}{DAS(P_i)_{cal_x_j}} - 1 \right| \right) \right) \quad (25)$$

où

$DAS_{\text{incertitude de modulation}_x}$ est l'incertitude pour la modulation particulière mod_x en pourcentage

$DAS(P_i)_{mod_x_j}$ est le DAS mesuré avec le signal modulé au niveau de puissance P_i pour l'indice de capteur j

$DAS(P_i)_{cal_x_j}$ est le DAS mesuré avec le signal étalonné à la même puissance efficace pour l'indice de capteur j

L'incertitude de DAS est déterminée comme étant le maximum de tous les $DAS(P_i)_{mod_x}$ à chaque étape pour l'ensemble des trois capteurs. L'indice j fait référence aux capteurs de champ pour lesquels la procédure doit être répétée. Une loi de probabilité rectangulaire a été

retenue pour l'incertitude de réponse de la modulation de la sonde dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13.

7.2.2.5 Effet de bord

L'effet de bord de sonde introduit une incertitude de mesure. Pour les besoins de la présente Norme, cette incertitude est négligeable si la distance la plus faible entre l'extrémité de la sonde et la surface interne du fantôme est toujours supérieure au diamètre d'extrémité de sonde.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'utiliser la sonde plus près que le diamètre d'extrémité de sonde, afin de réduire les incertitudes d'interpolation et d'extrapolation. L'incertitude d'effet de bord de l'Article B.6 doit alors être évaluée de préférence en utilisant le système de guide d'ondes décrit en B.3.2.3.3. En variante, la méthode de température décrite en B.3.2.3.2 peut être utilisée au-dessous de 800 MHz. La méthode ci-dessous est valide en partant du principe que l'angle entre l'axe de sonde et la droite perpendiculaire à la surface est conforme aux exigences du Tableau 1 et du Tableau 2. Étant donné que l'effet de bord est une caractéristique d'une sonde spécifique, il doit être déterminé lors de l'étalonnage de sonde (c'est-à-dire, en fonction du diamètre de l'extrémité de la sonde). Si des algorithmes sont appliqués pour compenser l'effet de bord, alors l'incertitude de DAS doit être déterminée avec le même matériel et le même logiciel d'évaluation que ceux utilisés pour effectuer les mesurages de DAS. L'incertitude d'effet de bord peut être estimée selon la formule d'approximation d'incertitude suivante basée sur des extrapolations linéaires et exponentielles entre la surface et $d_{be} + d_{step}$ le long de droites qui sont approximativement perpendiculaires à la surface:

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = \Delta DAS_{be} [\%] \frac{(d_{be} + d_{step})^2}{2d_{step}} \frac{(e^{-d_{be}/(\delta/2)})}{\delta/2}, \quad (d_{be} + d_{step}) < 10 \text{ mm et } f \leq 3 \text{ GHz} \quad (26)$$

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = \Delta DAS_{be} [\%] \frac{\delta}{\delta - d_{be}}, \quad d_{be} < \delta \text{ et } f > 3 \text{ GHz} \quad (27)$$

où

$DAS_{\text{incertitude}}$ est l'incertitude en pourcentage de l'effet de bord de sonde;

d_{be} est la distance entre la surface et le point de mesure le plus proche;

d_{step} est la distance de séparation entre le premier point de mesure et le deuxième point de mesure qui sont les plus proches de la surface du fantôme en partant du principe que l'effet de bord au deuxième emplacement est négligeable;

δ est la profondeur de pénétration des liquides équivalents aux tissus de la tête définis dans la présente Norme;

ΔDAS_{be} est l'écart, en pourcentage, de la valeur de DAS mesurée à la distance d_{be} du bord, par rapport à la valeur analytique de DAS de référence pour les systèmes de guide d'ondes $DAS_{réf}$. $DAS_{réf}$ est calculé à l'aide de la Formule (B.5).

Si des systèmes de guide d'ondes ne sont pas disponibles pour certaines plages de fréquences, il convient d'utiliser des sondes de température pour évaluer les valeurs de référence $DAS_{réf}$ aux emplacements d_{be} et $d_{be} + d_{step}$, et l'incertitude de DAS de la sonde de température doit être prise en compte. Si des méthodes de température sont utilisées, alors $DAS_{réf}$ est la valeur à cet emplacement déterminée en utilisant la sonde de température. Noter que l'étalonnage réel doit être effectué à des distances entre l'extrémité et le bord de la sonde qui sont supérieures au diamètre de l'extrémité de la sonde, où l'effet de bord est négligeable. Entrer l'incertitude de l'effet de bord de la sonde dans la ligne et la colonne appropriées du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13 en utilisant une loi rectangulaire.

7.2.2.6 Incertitude des lectures électroniques de la sonde de champ

Les incertitudes des lectures électroniques de la sonde de champ doivent être évaluées pour les lectures électroniques de la sonde de champ. Toutes les incertitudes associées à la lecture électronique de la sonde, y compris le gain et la linéarité de l'amplificateur de mesure, son effet de chargement sur la sonde, et l'exactitude de l'algorithme de conversion du signal, doivent être évaluées pour estimer l'incertitude maximale du DAS. Une méthode pour déterminer ces composantes d'incertitude consiste à remplacer la sonde par une source équivalente ayant la même impédance de source que la sonde à l'étude conformément aux spécifications du fabricant pour la sonde. Cela est généralement effectué par le fabricant du système. Chaque incertitude doit être convertie en une incertitude-type en utilisant une loi de probabilité normale. La valeur RSS de ces incertitudes doit alors être utilisée pour déterminer l'incertitude globale de la lecture électronique.

7.2.2.7 Incertitude sur le temps de réponse à un échelon du signal

L'incertitude du temps de réponse de signal de sonde en fonction du champ est évaluée par exposition de la sonde à une réponse à un échelon de champ E produisant au moins 100 W/kg à proximité de la surface du fantôme. Le temps de réponse du signal est évalué comme étant le temps exigé par la sonde et sa lecture électronique pour atteindre 90 % de la valeur finale prévue produite par la réponse à un échelon par activation/désactivation de la puissance RF. Pendant le mesurage de DAS, la sonde doit rester immobile au niveau de chaque emplacement de mesure pendant au moins deux fois le temps de réponse évalué afin que l'incertitude sur le temps de réponse du signal de la sonde soit négligeable. Dans ces conditions de mesure, une valeur de tolérance de zéro peut être inscrite dans le tableau d'incertitudes approprié. Sinon, l'incertitude de DAS en raison de l'incertitude sur le temps de réponse du signal doit être évaluée, en utilisant les caractéristiques de signal du dispositif d'essai. Dans ce cas, l'incertitude sur le temps de réponse à un échelon du signal est égale au pourcentage de différence entre le DAS mesuré au temps de mesure choisi et le DAS mesuré à deux fois le temps de mesure choisi. Une loi de probabilité rectangulaire doit être retenue.

7.2.2.8 Incertitude de temps d'intégration de sonde

7.2.2.8.1 Généralités

Des incertitudes de temps d'intégration de sonde peuvent survenir lorsque des dispositifs d'essai n'émettent pas un signal continu. Lorsque les intervalles de temps d'intégration et d'échantillonnage discret utilisés dans l'électronique de la sonde ne sont pas synchronisés avec les caractéristiques pulsées du signal mesuré, l'énergie RF à chaque emplacement de mesure peut ne pas être totalement ou correctement capturée. Cette incertitude doit être évaluée conformément aux caractéristiques de signal du dispositif d'essai avant le mesurage de DAS.

7.2.2.8.2 Incertitude de temps d'intégration de sonde pour des signaux pulsés périodiques

Pour les signaux avec une modulation d'impulsions périodique et une période d'impulsion supérieure à 1 % du temps d'intégration de sonde, l'incertitude supplémentaire de DAS doit être prise en compte lorsque le temps d'intégration de la sonde n'est pas un multiple exact de la périodicité la plus longue. L'incertitude doit être évaluée en fonction de l'incertitude maximale prévue pour un temps d'intégration de sonde non synchronisé en retenant une loi de probabilité rectangulaire. Pour un signal avec une enveloppe $s(t)$, le signal moyen lu par la sonde pendant le temps d'intégration t_{int} à partir du temps t_0 est donné par $s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})$ dans la Formule (28):

$$s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}) = \frac{1}{t_{\text{int}}} \int_{t_0}^{t_0 + t_{\text{int}}} s(t) dt, \quad 0 \leq t_0 \leq T \quad (28)$$

La Formule (28) considère par hypothèse que le filtrage par la sonde n'altère pas significativement l'enveloppe du signal $s(t)$. Si t_0 n'est pas synchronisé avec la période la plus longue T de $s(t)$, l'incertitude de temps d'intégration de sonde peut être définie comme présenté dans la Formule (29):

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = 100 \times \frac{\max(s_{\text{int}}(t)) - \langle s_{\text{int}}(t) \rangle}{\langle s_{\text{int}}(t) \rangle} \quad (29)$$

Ici $\langle \cdot \rangle$ désigne la valeur moyenne. Les Formules (28) et (29) peuvent être utilisées pour déduire l'incertitude de temps d'intégration de sonde d'un signal pulsé quelconque.

Une autre formule simple pour l'incertitude d'un système AMRT est présentée dans la Formule (30):

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = 100 \times \sum_{\text{toutes les sous-trames}} \frac{t_{\text{trame}}}{t_{\text{int}}} \frac{\text{intervalle}_{\text{inactif}}}{\text{intervalle}_{\text{total}}} \quad (30)$$

La Formule (30) est une approximation qui surestime généralement l'incertitude. Présentement, $\text{intervalle}_{\text{inactif}}$ est le nombre d'intervalles inactifs dans une trame, $\text{intervalle}_{\text{total}}$ étant le nombre total d'intervalles. La durée de trame est t_{trame} , avec $t_{\text{trame}} < t_{\text{int}}$. L'incertitude de temps d'intégration de sonde totale est la somme des erreurs pour toutes les sous-trames dans la structure de trame qui ont des intervalles inactifs. Par exemple, la trame de base pour les systèmes GSM a une durée de $t_{\text{trame}} = 4,6$ ms, avec 7 intervalles inactifs dans une trame à 8 intervalles, et la durée de multitrame est $t_{\text{multitrame}} = 120$ ms, 1 intervalle inactif dans une trame à 26 intervalles. Pour un temps d'intégration de sonde de 0,2 s, l'incertitude est estimée à $0,0201 + 0,0231 = 0,0432$ ou 4,32 % pour le GSM en utilisant la Formule (30), comparativement à 3,84 % en utilisant la Formule (28) et la Formule (29). GPRS est identique à GSM, sauf que le nombre d'intervalles inactifs peut être 6, 5, ..., où 7 intervalles inactifs est le cas le plus défavorable.

Une loi de probabilité rectangulaire doit être retenue pour l'incertitude de temps d'intégration de sonde. Pour des signaux équivalents continus ou CW, une valeur d'incertitude de zéro doit être saisie.

7.2.2.8.3 Incertitude de temps d'intégration de sonde pour des signaux non périodiques

Pour les signaux autres que ceux pulsés périodiques, il convient de déterminer le temps d'intégration de sonde à partir des mesurages de DAS à l'aide d'une source stable avec les mêmes caractéristiques de signal et le même type de sonde utilisé pour les mesurages du DUT. Les mesurages en un point unique (où le DAS est d'au moins 1 W/kg) doivent être effectués de façon consécutive en utilisant le temps d'intégration choisi et les temps d'intégration progressivement plus grands. Le temps d'intégration doit être multiplié par deux pour chaque mesurage consécutif jusqu'à ce que le dernier mesurage et l'avant-dernier mesurage soient à moins de 0,5 % l'un de l'autre. Chaque mesurage à un temps d'intégration donné doit être répété plusieurs fois pour vérifier que le résultat de mesure est stable, et le DAS moyen des mesurages répétés doit être utilisé pour ce temps d'intégration. Pour le temps d'intégration de sonde, la loi de probabilité retenue doit être rectangulaire. L'incertitude est la différence en pourcentage entre le DAS moyen au temps d'intégration choisi et le DAS moyen au temps d'intégration le plus long.

7.2.3 Contribution des contraintes mécaniques

7.2.3.1 Tolérances mécaniques du positionneur de la sonde (directions parallèles à la surface du fantôme)

Les tolérances mécaniques du positionneur de la sonde de champ peuvent introduire des écarts dans l'exactitude et la reproductibilité du positionnement de la sonde, ce qui ajoute à l'incertitude du mesurage du DAS. L'incertitude peut être estimée par rapport aux spécifications du positionneur de la sonde relatives à la position exigée par l'emplacement réel de mesure défini par le centre géométrique des capteurs de la sonde de champ et être exprimée comme écart maximal d_{ss} . Dans l'hypothèse d'une loi de probabilité rectangulaire, les contributions à l'incertitude du DAS maximal moyenné dues aux tolérances mécaniques du positionneur de sonde peuvent être calculées en utilisant d_{ss} selon une approximation d'erreur d'ordre 1:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100 \quad (31)$$

où

$DAS_{\text{incertitude}}$ est l'incertitude en pourcentage;

d_{ss} est l'incertitude maximale de positionnement entre la position calculée au centre des capteurs de la sonde et la position réelle par rapport à un point de référence défini par le fabricant du système;

δ est la profondeur de pénétration du liquide équivalent aux tissus de la tête défini dans la présente Norme.

Si le fabricant du positionneur ne spécifie pas les tolérances mécaniques du positionneur de la sonde, celles-ci doivent être évaluées pour déterminer la contribution à l'incertitude de mesure du DAS. Ceci peut être réalisé en évaluant l'exactitude relative des mouvements de la sonde dans la région de balayage de surface. La plus grande différence de distance entre les positions cible et réelle doit être utilisée pour évaluer l'incertitude du DAS. L'incertitude du DAS doit être entrée dans la colonne c du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13 en faisant l'hypothèse d'une loi rectangulaire.

7.2.3.2 Positionnement de sonde par rapport à la surface de l'enveloppe du fantôme

L'incertitude du positionneur de sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme doit être estimée comme étant l'écart maximal de la distance entre l'extrémité de la sonde et la surface du fantôme d_{ph} . En faisant l'hypothèse d'une loi de probabilité rectangulaire, la contribution à l'incertitude du DAS maximal moyenné est calculée en utilisant:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \frac{d_{ph}}{\delta/2} \times 100 \quad (32)$$

où

$DAS_{\text{incertitude}}$ est l'incertitude en pourcentage;

d_{ph} est l'écart maximal de la distance entre l'extrémité de la sonde et l'enveloppe du fantôme, c'est-à-dire l'incertitude pour la détermination de la position de l'extrémité de la sonde;

δ est la profondeur de pénétration du liquide équivalent aux tissus de la tête défini dans la présente Norme.

7.2.3.3 Approximation de premier ordre de la décroissance exponentielle

Les Formules (31) et (32) sont des approximations d'erreur d'ordre 1 de l'erreur de DAS correspondant à une erreur de positionnement Δz à l'emplacement z et pouvant être estimée suivant la Formule (33):

$$\frac{\Delta DAS}{DAS} = \frac{DAS_0 e^{-2\alpha(z+\Delta z)} - DAS_0 e^{-2\alpha z}}{DAS_0 e^{-2\alpha z}} \quad (33)$$

$$= (e^{-2\alpha\Delta z} - 1) = 1 - 2\alpha\Delta z + \frac{1}{2}(2\alpha\Delta z)^2 + \dots + (-1) \approx -2\alpha\Delta z$$

Ici α est l'inverse de la profondeur de pénétration du champ δ , et DAS_0 est la valeur de DAS à la surface du fantôme ($z = 0$). Le rapport $\Delta DAS/DAS$ est une estimation de la sensibilité du DAS à la décroissance exponentielle.

L'incertitude du DAS doit être entrée dans la Colonne c du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13 dans le tableau d'incertitudes en faisant l'hypothèse d'une loi rectangulaire.

7.2.4 Enveloppe du fantôme

L'incertitude du fantôme est définie comme l'incertitude du DAS maximal moyenné induit due aux incertitudes de réalisation du fantôme, et aux incertitudes des paramètres diélectriques du liquide équivalent aux tissus dans le fantôme (voir 7.2.6.3 et 7.2.6.4). Les spécifications de réalisation du fantôme sont utilisées pour estimer l'incertitude de l'enveloppe du fantôme, qui comprend les exigences suivantes.

- Les écarts des formes intérieure et extérieure de l'enveloppe du fantôme doivent être à $\pm 0,2$ mm par rapport à celles définies par le fichier CAO utilisé pour la présente Norme.
- Les écarts de l'épaisseur de l'enveloppe du fantôme par rapport à celle définie par le fichier CAO doivent être de $2 \pm 0,2$ mm.

L'incertitude de mesure de DAS est estimée selon le carré de la distance entre un filament de courant équivalent et le bord du milieu équivalent aux tissus de l'enveloppe du fantôme. L'évaluation est basée sur la dépendance de la distance vis-à-vis du mécanisme d'absorption de l'énergie en champ proche [82]. Pour rapprocher le DAS à un emplacement de mesure, cette théorie fait l'hypothèse d'une distance de séparation a entre le bord du milieu équivalent aux tissus à la surface interne de l'enveloppe du fantôme et l'emplacement d'une densité de courant de filament équivalente sur le dispositif. La distance de séparation dépend de l'épaisseur et de la conception interne du dispositif; une valeur prudente type pour a est 5 mm. L'incertitude de DAS due aux tolérances de réalisation du fantôme doit être estimée à l'aide de la Formule (34) pour des fréquences inférieures ou égales à 3 GHz:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = 100 \times \left(\frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right) \quad (34)$$

Où:

$DAS_{\text{incertitude}}$ est l'incertitude en pourcentage;

d est la tolérance maximale de l'épaisseur de l'enveloppe et de la forme du fantôme;

a est la distance entre le liquide équivalent aux tissus de la tête et l'emplacement de la source équivalente en densité de courant.

Si la tolérance de l'épaisseur de l'enveloppe et de la forme du fantôme ne peut pas être évaluée, la tolérance maximale de l'enveloppe intérieure et extérieure du fantôme par rapport à celle spécifiée dans le fichier CAO peut être appliquée pour d . Il a été démontré qu'à des fréquences plus élevées, en particulier au-dessus de 3 GHz, la permittivité de l'enveloppe du fantôme, $\epsilon_{r,\text{enveloppe}}$, a un impact croissant sur l'incertitude [123]. Par conséquent, la Formule (35) doit être utilisée au-dessus de 3 GHz:

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = \sqrt{\left[100 \times \left(\frac{(a+d)^2}{a^2} - 1 \right) \right]^2 + \left(5 \times |\epsilon_{r,\text{enveloppe}} - 4| \right)^2} \quad \text{pour } 2 \leq \epsilon_{r,\text{enveloppe}} \leq 5 \quad (35)$$

où d est la tolérance maximale de l'épaisseur de l'enveloppe et de la forme du fantôme. Le terme $5 \times |\epsilon_{r,\text{enveloppe}} - 4|$ est défini comme étant la valeur absolue de la permittivité réelle de l'enveloppe moins 4 multipliée par l'incertitude de 5 % évaluée lorsque la permittivité s'écarte de 1. Une permittivité relative de 4 a été suggérée pour l'enveloppe dans [123] pour réduire la dépendance du DAS maximal moyenné vis-à-vis de la permittivité à 5,2 GHz pour les configurations étudiées et est par conséquent utilisée comme permittivité de référence dans l'évaluation de l'incertitude.

L'incertitude de DAS relative à l'incertitude de réalisation de fantôme doit être entrée dans la ligne correspondante du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13, en retenant une loi de probabilité rectangulaire.

7.2.5 Incertitudes de positionnement du dispositif et du support

7.2.5.1 Généralités

Un support de dispositif est utilisé pour maintenir la position d'essai d'un combiné contre le fantôme pendant un mesurage de DAS. Étant donné qu'un support de dispositif peut influencer les caractéristiques d'un combiné en essai, l'incertitude de DAS due aux perturbations du support de dispositif doit être estimée en utilisant les procédures de 7.2.5.2. Les procédures pour les incertitudes du DAS dues aux variations de positionnement résultant des incertitudes mécaniques du support de dispositif sont exposées en 7.2.5.3. Les deux paragraphes comprennent des procédures pour des incertitudes spécifiques aux dispositifs et prédéterminées. Si des incertitudes prédéterminées sont utilisées, dans la plupart des cas des répétitions multiples d'essais spécifiques aux dispositifs sont exigées pour réduire davantage les écarts-types prédéterminés.

7.2.5.2 Incertitude due aux perturbations du support de dispositif

7.2.5.2.1 Généralités

Le support de dispositif doit être en un matériau à faible perte diélectrique avec une tangente de perte $\leq 0,05$ et une permittivité relative ≤ 5 (ces paramètres de matériau peuvent être déterminés par exemple en utilisant la méthode de la sonde de contact coaxiale). Néanmoins, certains supports peuvent exercer une influence sur la source et par conséquent, l'incertitude du support résultante (c'est-à-dire l'écart par rapport au montage sans le support) doit être estimée. L'incertitude du support de dispositif pour l'essai d'un DUT spécifique doit être estimée selon la méthode de type B décrite ci-dessous. Sinon, la méthode de type A décrite ci-dessous peut être utilisée pour évaluer l'incertitude pour un groupe de combinés ayant des caractéristiques DAS similaires et soumis à l'essai avec le même support de dispositif.

7.2.5.2.2 Incertitude due aux perturbations du support de dispositif pour un DUT spécifique: Type B

L'incertitude pour un combiné spécifique fonctionnant dans un support de dispositif spécifique doit être estimée en effectuant les deux essais suivants utilisant un fantôme plat.

- évaluation du DAS maximal moyenné ($DAS_{\text{avec support}}$) de 1 g ou de 10 g en plaçant le dispositif dans le support de la même manière que s'il était tenu lors d'un essai à proximité de la tête, puis en positionnant le combiné en contact direct avec un fantôme plan (lignes centrales horizontale et verticale du combiné parallèles à la base du fantôme plat);
- évaluation du DAS maximal moyenné ($DAS_{\text{sans support}}$) de 1 g ou de 10 g en plaçant le dispositif dans la même position que celle donnée en a), mais maintenu en place avec de la mousse polystyrène ou un matériau équivalent de faible perte et non réflecteur (permittivité inférieure ou égale à 1,2 et tangente de perte inférieure ou égale à 10^{-5}).

L'incertitude de DAS à utiliser dans le Tableau 11 est:

$$DAS_{\text{incertitude}} [\%] = \left(\frac{DAS_{\text{avec support}} - DAS_{\text{sans support}}}{DAS_{\text{sans support}}} \right) \times 100 \quad (36)$$

où

$DAS_{\text{incertitude}}$ est l'incertitude en pourcentage;

$DAS_{\text{avec support}}$ est le DAS avec le support de dispositif en W/kg;

$DAS_{\text{sans support}}$ est le DAS sans le support de dispositif en W/kg.

Cette incertitude retient l'hypothèse d'une loi de probabilité rectangulaire et $\nu_i = \infty$ degrés de liberté.

7.2.5.2.3 Incertitude due aux perturbations du support de dispositif pour un dispositif d'essai spécifique: Type A

Les données relatives à l'incertitude due aux perturbations du support d'un dispositif spécifique évaluées selon la méthode de type B décrite ci-dessus pour un groupe de combinés ayant la même forme et des caractéristiques de distribution de DAS sensiblement équivalentes doivent être statistiquement compilées et appliquées aux groupes de dispositifs sélectionnés soumis à l'essai dans le même support de dispositif et les mêmes configurations. Les procédures statistiques doivent inclure au moins six dispositifs, chacun d'eux étant évalué selon la méthode de type B décrite ci-dessus. Étant donné qu'un plus grand nombre de combinés ayant des caractéristiques DAS similaires sont évalués avec le même support de dispositif, l'erreur de perturbation peut être incluse dans une analyse d'incertitude de type A et appliquée à de futures évaluations de DAS de configurations similaires de dispositif et de support. L'augmentation du nombre de dispositifs d'essai augmente les degrés de liberté (ν_i) et réduit le facteur d'élargissement (k_p). Il convient de déterminer le facteur d'élargissement (k_p) pour de telles conditions comme $k_p = t_p(\nu_{\text{eff}})$ où $t_p(\nu_{\text{eff}})$ est le facteur d'élargissement de la loi de t , et ν_{eff} est le nombre de degrés de liberté efficaces estimé en utilisant la Formule de Welch-Satterthwaite (21). L'effet du support de dispositif pour N différents modèles de combinés dans les différentes configurations doit être estimé par la réalisation des essais selon la méthode de type B décrite ci-dessus pour chaque modèle (N doit être d'au moins 6).

L'incertitude correspondante pour le Tableau 11 doit être estimée en utilisant la moyenne quadratique (valeur efficace) des incertitudes individuelles, avec des degrés de liberté de $\nu_i = N - 1$. Il convient de mettre à jour la base de données annuellement afin de tenir compte de l'évolution de la conception des combinés.

7.2.5.3 Incertitude de positionnement du combiné avec un support de dispositif d'essai spécifique: Type A

7.2.5.3.1 Généralités

L'écart entre la position réelle du combiné et les positions décrites dans la norme dépend de l'exactitude du positionneur du combiné ainsi que de l'interprétation et de la manipulation effectuée par la personne effectuant l'essai. De plus, l'effet de cet écart sur les valeurs de DAS maximal moyenné dépend de la conception du combiné. Étant donné que ces paramètres ne peuvent pas être séparés, les essais de type A décrits ci-après doivent être effectués.

7.2.5.3.2 Incertitude de positionnement d'un combiné spécifique dans un support de dispositif spécifique

L'incertitude de positionnement d'un combiné spécifique soumis à l'essai dans un support de dispositif spécifique est évaluée en répétant les mesurages de DAS maximal moyenné de 1 g ou 10 g. Cette incertitude de positionnement doit être évaluée en utilisant la position de l'antenne, le canal de fréquences et la position du dispositif pour le mode de fonctionnement

qui a produit le DAS le plus élevé parmi toutes les bandes de fréquences. Outre le mesurage de DAS initial, le combiné doit être repositionné et les essais répétés au moins quatre fois. Ce minimum de cinq essais est suffisant pour établir une valeur raisonnable pour les degrés de liberté. Si l'incertitude de positionnement d'un dispositif individuel est censée être importante, il peut être nécessaire d'effectuer plus d'essais pour réduire l'impact sur l'incertitude de mesure totale. L'augmentation du nombre d'essais augmente les degrés de liberté efficaces (ν_{eff}) et réduit le facteur d'élargissement. Le DAS moyen pour le nombre total de mesurages (N) est utilisé pour déterminer l'incertitude de DAS selon l'écart-type et les degrés de liberté ($\nu_i = N - 1$) du nombre d'essais effectués.

7.2.5.3.3 Incertitude de positionnement pour des types spécifiques de combinés dans un support de dispositif spécifique

Une analyse d'incertitude de type A peut être appliquée pour un groupe de combinés ayant essentiellement la même forme et des dimensions et des distributions de DAS sensiblement équivalentes. Les essais doivent inclure au moins six dispositifs, chacun d'eux étant évalué selon les procédures applicables à un combiné spécifique dans un support de dispositif spécifique décrites ci-dessus. Le nombre d'essais n doit être d'au moins 5, et chacun des n essais doit être effectué pour tous les M dispositifs. La moitié des n essais doivent être dans la position "joue" et l'autre moitié doit être dans la position "inclinaison". L'incertitude correspondante doit être estimée en appliquant la valeur efficace des M écarts-types individuels. La valeur à inscrire dans le tableau d'incertitudes doit être l'incertitude-type avec $k = 1$. Les degrés de liberté sont déterminés en fonction du nombre total d'essais $N = n \times M$. Pour les M dispositifs inclus dans le groupe spécifique de combinés, $\nu_i = N - 1$. Si cette procédure est appliquée pour déterminer l'incertitude, il peut être inutile d'appliquer les procédures pour un combiné spécifique dans un support de dispositif spécifique décrites ci-dessus aux combinés individuels. Il convient de mettre à jour la base de données annuellement afin de tenir compte de l'évolution de la conception des combinés.

7.2.6 Incertitude des paramètres du liquide équivalent aux tissus

7.2.6.1 Généralités

La description détaillée des méthodes d'essai des paramètres diélectriques est donnée à l'Annexe J, et les méthodes d'estimation d'incertitude sont présentées au 7.2.6.5.

Selon les pratiques métrologiques habituelles, il est exigé que l'incertitude de mesure pour chaque paramètre diélectrique soit inférieure ou égale aux variations tolérées (voir 6.2.1) par rapport aux valeurs cibles des paramètres diélectriques mesurés.

7.2.6.2 Masse volumique du liquide

Les paramètres électromagnétiques des liquides équivalents aux tissus présentent par hypothèse une masse volumique de $1\,000\text{ kg/m}^3$. Cette masse volumique doit être utilisée pour les évaluations de DAS. Pour le calcul du DAS à partir de la distribution de champ E mesurée par la sonde de dosimétrie, la masse volumique du liquide est simplement un paramètre numérique qui n'est pas lié à la masse volumique réelle du liquide. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de lui associer une quelconque incertitude.

7.2.6.3 Incertitude de conductivité du liquide

L'incertitude due à la conductivité des liquides provient de deux sources différentes. La première source d'incertitude est la tolérance admissible par rapport à la valeur cible du Tableau A.3 et la deuxième source d'incertitude provient des procédures de mesure utilisées pour évaluer la conductivité. L'incertitude doit être estimée en utilisant une probabilité normale. Voir 6.2.1 pour les tolérances et corrections applicables des propriétés diélectriques du liquide. La Formule (41) doit être utilisée pour corriger le DAS mesuré des écarts de conductivité.

7.2.6.4 Incertitude de permittivité du liquide

L'incertitude due à la permittivité relative des liquides provient de deux sources différentes. La première source d'incertitude est l'écart par rapport à la valeur cible du Tableau A.3 et la deuxième source d'incertitude provient des procédures de mesure utilisées pour évaluer la permittivité relative. L'incertitude doit être estimée en utilisant une probabilité normale. Voir 6.2.1 pour les tolérances et corrections applicables des propriétés diélectriques du liquide. La Formule (41) doit être utilisée pour corriger le DAS mesuré des écarts de permittivité.

7.2.6.5 Évaluation des incertitudes de mesure de paramètre de liquide diélectrique

Les procédures de mesure décrites dans l'Annexe J utilisent des analyseurs de réseau vectoriel pour des mesurages de propriété diélectrique. Les analyseurs de réseau exigent un étalonnage afin de prendre en compte et éliminer les pertes et réflexions inhérentes. Le bilan d'incertitude pour le mesurage diélectrique résulte des inexactitudes dans les données d'étalonnage, la dérive de l'analyseur et les erreurs aléatoires. D'autres sources d'erreurs sont les incertitudes du support d'échantillon, les écarts par rapport aux dimensions optimales pour les fréquences spécifiées et les propriétés de l'échantillon. Cela est applicable indépendamment du type de support d'échantillon et de la nature des facteurs de répartition faisant l'objet d'un mesurage. Les incertitudes dues à la droite d'ajustement de la méthode du banc de mesure peuvent être évaluées par une analyse des moindres carrés [141].

Un exemple de fiche d'analyse d'incertitude est présenté au Tableau 5. Toutes les grandeurs d'influence peuvent être pertinentes ou non pour un montage d'essai ou pour une procédure spécifique alors que d'autres composantes, qui ne figurent pas dans cette liste, peuvent s'appliquer à certains montages d'essai. Le mesurage de liquides de référence bien caractérisés peut être utilisé pour estimer l'incertitude de mesure des propriétés diélectriques [37], [71], [106], [122], comme décrit dans la procédure suivante.

- Configurer et étalonner l'analyseur de réseau dans un spectre de fréquence suffisamment large autour de la fréquence centrale d'intérêt, du liquide utilisé pour le mesurage de DAS.
- Mesurer un matériau de référence.
- Répéter les Étapes a) et b) au moins n fois (où n est au moins égal à trois et est suffisant pour que les mesurages se soient stabilisés. Il convient que n soit suffisamment grand pour maintenir la répétabilité à l'Étape d) dans les limites de tolérance applicables telles que spécifiées en 6.2.1 à toutes les fréquences d'intérêt. Effectuer les mesurages à la même température de liquide à laquelle les propriétés diélectriques cibles des liquides de référence sont connues. À chaque fréquence, effectuer les Étapes d) à g).
- Calculer la répétabilité comme l'écart-type de l'échantillon divisé par la valeur moyenne. Pour la permittivité, elle est donnée par la Formule (37):

$$\text{répétabilité} [\%] = 100 \times \frac{1}{\varepsilon'_r} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon'_{r_i} - \overline{\varepsilon'_r})^2} \quad (37)$$

où la valeur moyenne est définie dans la Formule (38):

$$\overline{\varepsilon'_r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon'_{r_i} \quad (38)$$

Faire la même chose pour la conductivité.

- Inscrire la répétabilité dans la Ligne 1, Colonne a du Tableau 5. Le nombre de degrés de liberté $\nu_i = n - 1$ est inscrit dans la Colonne e. Déterminer l'écart des paramètres diélectriques par rapport aux valeurs cibles $\varepsilon_{r\text{ref}}$ et $\sigma_{r\text{ref}}$. Pour la permittivité, elle est donnée par la Formule (39):

$$\text{écart}[\%] = 100 \times \left| \frac{\overline{\varepsilon'_r} - \varepsilon'_{r\text{ref}}}{\varepsilon'_{r\text{ref}}} \right| \quad (39)$$

- f) Inscrire l'écart dans la Ligne 2, Colonne *a* du Tableau 5. Le nombre de degrés de liberté $\nu_i = n - 1$ est inscrit dans la Colonne *e*. Faire la même chose pour la conductivité.
- g) Estimer les incertitudes de type B pour les autres composantes du Tableau 5 (et d'autres composantes pertinentes si nécessaire) dans la plage de fréquences à l'étude.
- h) Déterminer l'incertitude-type composée comme la RSS des composantes de l'incertitude des Étapes d), e) et f). Inscrire cette valeur dans la Ligne 5, Colonne *d* du Tableau 5.
- i) Pour la permittivité relative, choisir la fréquence qui donne la plus grande valeur pour l'incertitude-type composée de l'Étape g). Inscrire cette incertitude et les degrés de liberté correspondants ν_i dans la ligne appropriée du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13. Faire la même chose pour la conductivité.

Tableau 5 – Exemple de fiche d'incertitudes et exemple de valeurs numériques pour le mesurage (ε'_r) de la constante diélectrique (ε) et de la conductivité

		<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i> $u_i = (alb) \times (c)$	<i>e</i>
	Composante d'incertitude	Incertitude ($\pm$ %)	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertitude-type ($\pm$ %)	ν_i ou ν_{eff}
1	Répétabilité de ε'_r ou σ (<i>N</i> répétitions)	5,2	N	1	1	5,2	4
2	Écart de la cible du liquide de référence ε'_r ou σ	3,0	R	$\sqrt{3}$	1	1,73	4
3	Dérive de l'analyseur de réseau, linéarité, etc.	0,5	R	$\sqrt{3}$	1	0,29	∞
4	Variations du câble d'entrée de l'essai	0,5	U	$\sqrt{2}$	1	0,35	∞
5	Incertitude-type composée					5,50	5

NOTE Les en-têtes de ligne 1 à 5 et les en-têtes de colonne *a* à *e* sont donnés pour référence.

Dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13, les coefficients de sensibilité c_i contenus dans les Colonnes *f* et *g* relatives aux incertitudes de mesure de la conductivité et de la permittivité des liquides équivalents aux tissus sont nécessaires. Ces coefficients de sensibilité sont c_σ pour la conductivité et c_ε pour la permittivité. Ils sont calculés en utilisant les Formules (42) à (45). Les plus grands coefficients de sensibilité dans la plage de fréquences de 300 MHz à 6 000 MHz se sont révélés être $c_\sigma = 0,78$ (à 300 MHz) et $c_\varepsilon = 0,23$ (à 2 000 MHz) pour une intégration de 1 g et $c_\sigma = 0,71$ (à 300 MHz) et $c_\varepsilon = 0,26$ (à 5 500 MHz) pour une intégration de 10 g. Ces valeurs maximales sont introduites dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13. En variante, les valeurs maximales de certaines plages de fréquences soumises à l'essai peuvent être entrées.

7.2.6.6 Incertitude de température du liquide

Les mesurages à la fois de DAS et des paramètres diélectriques des tissus doivent être effectués à une température ambiante comprise entre 18 °C et 25 °C inclus. Ces deux températures mesurées ne doivent pas s'écarter de plus de 2 °C. L'évaluation suivante doit être réalisée pour chaque formule afin de déterminer l'incertitude causée par la tolérance de température. Cette évaluation est généralement effectuée une seule fois par formule aux

fréquences d'intérêt. Cette évaluation doit être réalisée pour chaque nouvelle formule ou pour des modifications apportées à une formule.

Les mesurages des paramètres diélectriques aux températures du liquide $T_{\text{bas}} = 18\text{ °C}$ et $T_{\text{haut}} = 25\text{ °C}$ doivent être utilisés pour calculer l'incertitude de température selon la Formule (40). Les conditions qui s'appliquent dans le cas présent portent uniquement sur l'évaluation de l'incertitude de température du liquide et n'affectent pas les exigences de température pendant l'essai.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{incertitude de température du liquide}}[\%] &= 100 \times \left| \frac{2 \times [\varepsilon_r(T_{\text{haut}}) - \varepsilon_r(T_{\text{bas}})]}{\varepsilon_r(T_{\text{haut}}) + \varepsilon_r(T_{\text{bas}})} \times \frac{2\text{ °C}}{T_{\text{haut}} - T_{\text{bas}}} \right| \\ \sigma_{\text{incertitude de température du liquide}}[\%] &= 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{haut}}) - \sigma(T_{\text{bas}})]}{\sigma(T_{\text{haut}}) + \sigma(T_{\text{bas}})} \times \frac{2\text{ °C}}{T_{\text{haut}} - T_{\text{bas}}} \right| \end{aligned} \quad (40)$$

où

$\varepsilon_{\text{incertitude de température du liquide}}$	est l'incertitude de température pour la permittivité du liquide en pourcentage;
$\sigma_{\text{incertitude de température du liquide}}$	est l'incertitude de température pour la conductivité du liquide en pourcentage;
$\varepsilon_r(T_{\text{haut}})$	est la permittivité relative à la température T_{haut} ;
$\varepsilon_r(T_{\text{bas}})$	est la permittivité relative à la température T_{bas} ;
$\sigma(T_{\text{haut}})$	est la conductivité à la température T_{haut} ;
$\sigma(T_{\text{bas}})$	est la conductivité à la température T_{bas} ;
T_{haut}	est la température, en °C, la plus élevée à laquelle les paramètres diélectriques ont été mesurés;
T_{bas}	est la température, en °C, la plus basse à laquelle les paramètres diélectriques ont été mesurés.

Ces formules peuvent être utilisées pour déduire l'incertitude de température pour le liquide particulier. L'incertitude des mesurages pour T_{bas} et T_{haut} doit être inférieure à 0,1 °C. Noter que cette tolérance est applicable seulement pour cette évaluation de l'incertitude. Ceci n'affecte pas les exigences de température pendant l'essai.

Les valeurs de $\varepsilon_{\text{incertitude de température du liquide}}$ et $\sigma_{\text{incertitude de température du liquide}}$ sont entrées dans la Colonne c des lignes appropriées du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13. Les valeurs calculées pour certaines formules sont présentées à l'Annexe I. Une loi de probabilité rectangulaire a été retenue pour l'incertitude de température de liquide dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13.

7.2.7 Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité

7.2.7.1 General

Il peut être difficile de déterminer des formules de liquide adaptées et stables dont les paramètres diélectriques sont proches des cibles, à des fréquences supérieures à 3 GHz. Il existe trois solutions possibles à ce problème:

- modifier les paramètres diélectriques cibles pour qu'ils correspondent à ceux des formules de liquide disponibles;
- élargir la tolérance (sans corriger le DAS pour l'écart des paramètres diélectriques);
- élargir la tolérance et corriger le DAS pour l'écart des paramètres diélectriques mesurés par rapport aux valeurs cibles.

La troisième solution est recommandée car la modification des cibles peut restreindre la norme à des formules de liquide particulières et le simple fait d'élargir la tolérance augmente l'incertitude de mesure.

7.2.7.2 Formule de correction de DAS pour l'écart par rapport aux valeurs diélectriques cibles

Lorsque les écarts de permittivité $\Delta\epsilon_r$ et/ou de conductivité $\Delta\sigma$ par rapport aux valeurs cibles du Tableau A.3 dépassent $\pm 5\%$ mais sont inférieurs à $\pm 10\%$, la méthode de correction de DAS peut être appliquée pour réduire l'incertitude de mesure et corriger les valeurs de DAS mesuré. Cette méthode est également applicable si l'incertitude élargie mesurée n'est pas dans la limite exigée de $\pm 30\%$ (7.3.2).

La méthodologie utilisée pour déterminer la correction de DAS est décrite dans Douglas et al. [26] et [27]. L'évaluation selon cette méthodologie a été effectuée sur une plage de fréquences de 30 MHz à 6 000 MHz, mais elle est mise en œuvre sur la plage de fréquences de 300 MHz à 6 000 MHz dans la présente Norme. La méthodologie a également été étudiée pour les plages de permittivité et de conductivité de $\pm 20\%$ par rapport aux valeurs cibles dans le Tableau A.3, mais des plages de $\pm 10\%$ ont été choisies pour la présente Norme. Étant donné que le changement de paramètres diélectriques influence le facteur de conversion de la sonde (voir l'Annexe B), cette influence est faible si une plage de $\pm 10\%$ est utilisée.

Une relation quasi linéaire a été observée entre le changement en pourcentage du DAS (appelé ΔDAS) et le changement en pourcentage de la permittivité et la conductivité par rapport aux valeurs cibles dans le Tableau A.3 (appelé $\Delta\epsilon_r$ et $\Delta\sigma$, respectivement) pour une plage spécifique de $\Delta\epsilon_r$ et $\Delta\sigma$. Cette relation linéaire est en accord avec les résultats de Kuster et Balzano [82] et Bit-Babik et al. [7]. La relation est donnée par la Formule (41):

$$\Delta DAS = c_\epsilon \Delta\epsilon_r + c_\sigma \Delta\sigma \quad (41)$$

où

ΔDAS est la correction de la valeur de DAS;

$\Delta\epsilon_r$ est l'écart mesuré de permittivité relative;

$\Delta\sigma$ est l'écart mesuré de conductivité.

Dans le cas présent, $c_\epsilon = \partial DAS / \partial \epsilon \times (\epsilon / DAS)$ et $c_\sigma = \partial DAS / \partial \sigma \times (\sigma / DAS)$ sont des coefficients représentant la sensibilité du DAS à la permittivité et la conductivité, respectivement.

Les valeurs de c_ϵ et c_σ ont une relation simple avec la fréquence qui peut être décrite en utilisant des équations polynomiales. Ces valeurs dépendent du DAS moyenné sur la masse. La masse d'intégration de DAS est décrite dans des normes et des lignes directrices comprenant la norme IEEE Std C95.1-2005 [65] et ICNIRP [64]. Pour le DAS maximal moyenné sur 1 g, c_ϵ et c_σ sont donnés par les Formules (42) et (43):

$$c_\epsilon = -7,854 \times 10^{-4} f^3 + 9,402 \times 10^{-3} f^2 - 2,742 \times 10^{-2} f - 0,2026 \quad (42)$$

$$c_\sigma = 9,804 \times 10^{-3} f^3 - 8,661 \times 10^{-2} f^2 + 2,981 \times 10^{-2} f + 0,7829 \quad (43)$$

Où f est la fréquence en GHz. Pour le DAS maximal moyenné sur 10 g, c_ϵ et c_σ sont donnés par les Formules (44) et (45):

$$c_\epsilon = 3,456 \times 10^{-3} f^3 - 3,531 \times 10^{-2} f^2 + 7,675 \times 10^{-2} f - 0,1860 \quad (44)$$

$$c_{\sigma} = 4,479 \times 10^{-3} f^3 - 1,586 \times 10^{-2} f^2 - 0,1972 f + 0,7717 \quad (45)$$

7.2.7.3 Incertitude de correction

La tolérance moyenne des Formules (41), (42), (43), (44) et (45), définie comme étant la racine carrée de la moyenne des différences quadratiques entre l'écart de DAS prédit par les formules et les écarts simulés, est présentée dans le Tableau 6 pour le DAS maximal moyenné pour 1 g et le DAS maximal moyenné pour 10 g. Le Tableau 6 décrit comment l'incertitude augmente lorsque les valeurs maximales tolérées de $\Delta\epsilon_r$ et $\Delta\sigma$ augmentent. Il a également été démontré que ces corrections sont valides pour des modèles de combiné sans fil réalistes [26], [27].

Tableau 6 – Incertitude de la Formule (41) en fonction du changement maximal de permittivité ou conductivité

Changement maximal de ϵ_r or σ %	Incertitude pour DAS_{1g} %	Incertitude pour DAS_{10g} %
± 5	1,2	0,97
± 10	1,9	1,6
± 15	2,6	2,1
± 20	3,4	2,7

En utilisant cette approche, l'incertitude de mesure est plus faible, en raison du fait que cette correction élimine la nécessité d'éléments d'incertitude qui tiennent compte de l'écart des paramètres diélectriques par rapport aux cibles. Au lieu de cela, il existe un élément d'incertitude qui prend en compte l'erreur de la formule de correction. La valeur de cet élément d'incertitude est donnée dans le Tableau 6. Pour ± 10 % d'écart de permittivité et de conductivité, entrer 1,9 % et 1,6 % dans le bilan d'incertitude pour le DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g, respectivement. Ces valeurs d'incertitude doivent être entrées dans les lignes appropriées du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13, en retenant une loi de probabilité normale.

7.2.8 Dérive de DAS mesuré

La dérive de mesure de DAS du DUT est prise en compte par la première étape et la dernière étape de la procédure de mesure définie en 6.4.2 en utilisant les deux méthodes suivantes:

- Dans la méthode préférentielle, des mesurages à point unique de DAS sont effectués par le système de mesure de DAS avant de réaliser le balayage de surface. Un mesurage secondaire est effectué par le système au même point après la réalisation du mesurage de DAS. Le mesurage est réalisé dans le liquide équivalent aux tissus à un point de référence auquel les valeurs de DAS pour les mesurages primaire et secondaire dépassent la limite de détection inférieure du système de mesure. La distance du point de référence à la surface interne du fantôme, dans la direction perpendiculaire à la surface interne du fantôme, doit être inférieure ou égale à 10 mm.
- En variante, et si la méthode préférentielle en a) n'est pas assez sensible, les mesurages de la puissance conduite peuvent être effectués sur le dispositif au port d'antenne en utilisant un équipement capable de mesurer la puissance RF avant le placement du dispositif pour l'essai de DAS. Un mesurage de puissance RF secondaire doit être effectué une fois que l'essai de DAS est terminé.

Dans tous les cas, la dérive est enregistrée comme étant la différence en pourcentage du mesurage de référence secondaire, $Ref_{secondaire}$ (DAS ou puissance conduite), par rapport au mesurage de référence primaire, $Ref_{primaire}$:

$$\text{dérive} = 100\% \times \frac{Ref_{\text{secondaire}} - Ref_{\text{primaire}}}{Ref_{\text{primaire}}} \quad (46)$$

Les combinés commercialisés doivent avoir des dérives de DAS de $\pm 5\%$. Certains dispositifs peuvent avoir des fluctuations significatives de puissance de sortie qui ne sont pas classifiables comme une dérive de puissance indésirable, mais plutôt comme une caractéristique du comportement fonctionnel normal du dispositif. Dans ce cas, d'autres méthodes telles que la mise à l'échelle de DAS doivent être envisagées pour s'assurer qu'un DAS exact et prudent soit obtenu.

Si la dérive de DAS ne peut pas respecter le seuil de 5 % pendant la réalisation de l'essai de DAS selon 6.4.2, un mesurage de dérive pendant le temps d'évaluation de mesure le plus long prévu doit alors être effectué sans recharger la batterie. Cela est effectué en réalisant un mesurage selon la méthode a) ou b) ci-dessus, en continu pendant le temps d'évaluation (au moins une fois toutes les 5 s). Ce mesurage de balayage temporel doit être effectué pour chaque bande de fréquences pour le mode de fonctionnement ayant la puissance de sortie moyennée la plus élevée. Si la différence entre le maximum et le minimum dans le balayage temporel est inférieure à 5 % de la valeur moyenne, ou si la différence est inférieure à 10 % et le DAS diminue principalement pendant le balayage temporel (il n'augmente pas de plus de 2 % à un moment quelconque pendant le balayage temporel), il est suffisant d'effectuer des mesurages de référence au début du balayage de surface et à la fin du dernier balayage-zoom, comme décrit en 6.4.2 d) et e). Sinon, des mesurages de référence supplémentaires doivent être effectués pendant le balayage-zoom, et les mesurages de balayage-zoom doivent être corrigés avant d'effectuer l'extrapolation, l'intégration et le calcul de moyenne. Une interpolation linéaire entre les mesurages de référence est effectuée avant la correction. Les valeurs de DAS mesurées pendant le balayage-zoom doivent être corrigées par la différence entre les valeurs interpolées et la première valeur de référence mesurée avant le balayage de surface. Le temps entre les mesurages de référence pendant le balayage-zoom doit être suffisamment court pour que la correction de la courbe de balayage temporel décrite ci-dessus conduise à une mesure prudente pour tous les points.

Si la dérive de DAS est inférieure ou égale à 5 %, elle peut être traitée comme une incertitude (c'est-à-dire, une erreur aléatoire) ou un décalage systématique. Si la dérive est supérieure à 5 %, la dérive de mesure doit être considérée comme un décalage systématique plutôt qu'une incertitude.

Si elle est traitée comme une incertitude, enregistrer la valeur absolue de la dérive dans le tableau d'incertitudes. Ne pas ajouter la dérive à la valeur de DAS évaluée. La valeur d'incertitude présentée dans le bilan d'incertitude doit être la valeur correspondant à la dérive de mesure la plus élevée de DAS rapportée, ou le maximum autorisé à 5 %.

Si elle est traitée comme un décalage systématique, appliquer une compensation au DAS mesuré, c'est-à-dire, en ajoutant la différence absolue à la valeur de DAS déterminée si la dérive est négative ou positive:

$$DAS_{\text{compensé}} = DAS_{\text{mesuré}} \times (1 + |dérive|/100\%) \quad (47)$$

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'enregistrer la dérive dans le bilan d'incertitude (c'est-à-dire $u_i = 0\%$). Afin de maintenir une valeur prudente pour le DAS résultant, les dérives ne sont pas soustraites du DAS évalué. Si différents modes de fonctionnement évalués du dispositif présentent des rapports de dérive différents, toutes les valeurs de DAS mesurées correspondantes peuvent être compensées par le même rapport, à condition que le rapport de dérive appliqué soit le plus grand détecté pendant l'essai de DAS dans tous les modes de fonctionnement du dispositif. L'incertitude doit être estimée en faisant l'hypothèse d'une loi de probabilité rectangulaire.

7.2.9 Conditions RF ambiantes

L'effet RF ambiant sur les incertitudes de mesure doit être évalué. Le niveau RF ambiant est évalué en effectuant des mesurages de DAS en utilisant la même configuration d'équipement que celle utilisée pour soumettre à l'essai le DUT, mais avec la puissance RF désactivée. Pour la masse d'intégration de 1 g et 10 g, le DAS dû à l'effet RF ambiant doit être inférieur ou égal à 0,012 W/kg (c'est-à-dire 3 % de 0,4 W/kg).

Il n'est pas nécessaire de contrôler le bruit RF ambiant avant chaque essai de DAS à condition que le laboratoire puisse démontrer qu'il n'y a aucune nouvelle source RF.

Les configurations d'essai décrites à l'Article D.2 sont utilisées pour évaluer les effets des réflexions d'objets proches à un site d'essai. La quantité totale de réflexions doit être conforme aux exigences de 5.1. De plus, le bruit RF ambiant doit être déterminé en effectuant des mesurages de DAS avec toutes les sources RF locales désactivées. La variation tolérée doit être de $\pm 3\%$ de 0,4 W/kg et l'incertitude doit être estimée dans l'hypothèse d'une loi de probabilité rectangulaire.

Lorsque des mesurages de DAS sont effectués dans un environnement contrôlé, tel qu'une chambre anéchoïque, les effets RF ambiants doivent être évalués au moins une fois par an. Sinon, il convient d'évaluer les effets RF ambiants avant d'effectuer tout mesurage de DAS sur le dispositif, et les conditions ambiantes doivent être surveillées pendant le mesurage afin que des sources de proximité à sortie élevée, telles que des talkies-walkies, n'affectent pas les mesurages de DAS. La justification de l'évaluation de contrôle RF dans un environnement non contrôlé est qu'il n'y a pas de raison d'évaluer cette contribution à l'incertitude avant tout mesurage de DAS s'il peut être démontré que des sources RF sont suffisamment éloignées de l'emplacement du système de mesure de DAS, même si le système de mesure est placé dans un environnement non contrôlé, compte tenu de la nature de champ proche du mesurage de DAS. La justification des intervalles d'étalonnage décrits dans l'ISO 10012:2003 est recommandée pour évaluer la périodicité d'évaluation des effets RF ambiants sur les mesurages de DAS.

7.2.10 Contribution du post-traitement des données

7.2.10.1 Généralités

Le paragraphe 7.2.10 décrit l'estimation de l'incertitude résultant du post-traitement des données mesurées discrètes afin de déterminer le DAS maximal moyenné sur 1 g et 10 g, c'est-à-dire l'incertitude composée des algorithmes d'interpolation, d'extrapolation, d'intégration et de recherche des maxima. Ces algorithmes peuvent ajouter une incertitude due aux hypothèses au sujet du comportement général des champs et par conséquent, peuvent ne pas prédire parfaitement la distribution de DAS dans le liquide équivalent aux tissus pour un combiné spécifique. L'incertitude d'un algorithme dépend de la résolution choisie pour le mesurage et des méthodes de post-traitement de données utilisées dans les balayages de surface et les balayages-zoom.

La distribution réelle du DAS à la position du maximum est fortement dépendante des fréquences de fonctionnement et de la conception du combiné, de la position d'essai et de la proximité du liquide équivalent aux tissus. Des distributions de DAS peuvent avoir un gradient quasi nul quand une source de basse fréquence est située assez loin, ou avoir un gradient très prononcé si une petite source de haute fréquence telle qu'une antenne en hélice est placée à proximité du tissu. Dans certains cas, le DAS maximal n'est pas à la surface du fantôme du fait de l'annulation des champs magnétiques à la surface [90].

Les fonctions analytiques de la distribution de DAS présentées ci-dessous sont destinées à simuler ces conditions et ont été développées pour les besoins de cette estimation d'incertitude. Ces fonctions de référence déduites de façon empirique sont utilisées pour créer un ensemble de données DAS artificielles ou "fictives" pour soumettre à l'essai les sous-programmes du logiciel de traitement de données du système. Les valeurs des fonctions de référence calculées pour une grille à espacement grossier et fin, les mêmes que celles

utilisées pour les mesurages, sont entrées dans le logiciel du système DAS. Les valeurs DAS aux points de la grille correspondant aux grilles de mesure des balayages de surface et aux balayages-zoom sont calculées conformément aux trois fonctions de distribution de DAS présentées en 7.2.10.2 et traitées par les algorithmes d'interpolation, d'extrapolation et d'intégration du système comme s'il s'agissait de mesurages réels. Les valeurs résultantes de DAS maximal moyenné sur 1 g et sur 10 g sont comparées aux valeurs DAS de référence répertoriées en 7.2.10.2. Des procédures pour évaluer l'incertitude de DAS des algorithmes de post-traitement de balayage de surface et de balayage-zoom sont décrites en 7.2.10.3. Les fonctions d'essai considèrent par hypothèse une interface plane entre le liquide équivalent aux tissus et le fantôme. L'application de ces fonctions à des interfaces courbes est analysée en 7.2.10.4. Ce concept d'incertitude part du principe qu'il n'y a pas d'erreur dans la position des points de la grille calculée avec les fonctions analytiques de distribution, et le positionnement de la sonde et les incertitudes de mesure ne sont pas incluses.

7.2.10.2 Fonctions d'essai d'évaluation

Trois fonctions analytiques, f_1 , f_2 et f_3 , sont utilisées pour représenter la plage possible des distributions de DAS attendues pour les combinés soumis à l'essai selon les procédures décrites dans le présent document. Une distribution, f_1 , est basée sur l'évaluation d'empreintes de DAS de dispositifs sans fil réels et est applicable pour des fréquences allant jusqu'à 2 GHz. Étant donné que f_1 prend en compte les dispositifs placés à proximité étroite du fantôme SAM à des fréquences supérieures à 900 MHz, f_1 est également utilisée pour modéliser des gradients de DAS très prononcés. Deux ensembles de paramètres sont donnés pour f_1 de sorte que les distributions de DAS avec un et deux maxima puissent être évaluées. La fonction f_2 est utilisée à des fréquences allant jusqu'à 3 GHz pour prendre en compte les conditions d'exposition avec annulation de champ H à la surface du fantôme-tissu. Une troisième fonction de référence, f_3 , est définie pour réaliser l'essai dans la plage de fréquences de 3 GHz à 6 GHz. Étant donné que le bruit peut affecter l'extrapolation à ces fréquences, un terme de bruit est inclus. Les fonctions de distribution sont définies pour la surface du fantôme à $z = 0$ et la moitié de l'espace du milieu équivalent aux tissus pour tout $z > 0$ dans la Formule (48):

$$f_1(x, y, z) = A_1 \exp \left[-\frac{(x' + x_d/2)^2}{2\sigma_{x\text{peak}}^2} \right] \exp \left(-\frac{y'^2}{2\sigma_{y\text{peak}}^2} \right) e^{-\frac{z}{a}} \\ + A_2 \exp \left[-\frac{(x' - x_d/2)^2}{2\sigma_{x\text{sec}}^2} \right] \exp \left(-\frac{y'^2}{2\sigma_{y\text{sec}}^2} \right) e^{-\frac{z}{a}} \quad (48)$$

$$f_2(x, y, z) = A e^{-\frac{z}{a}} \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \left(3 - e^{-\frac{2z}{a}} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{y'}{3a} \right) \quad (49)$$

$$f_3(x, y, z) = A \exp \left[-\frac{(x'^2 + y'^2/2)}{(a/4)^2} \right] e^{-\frac{8z}{a}} + N_{\text{rms}} \text{rnd}(\zeta) \quad (50)$$

Noter qu'en raison du terme de bruit dans la fonction f_3 , il convient que celle-ci soit évaluée au moins 4 000 fois pour s'assurer que l'écart-type converge vers la valeur correcte. x , y et z sont les coordonnées cartésiennes spatiales de la distribution de DAS. Il doit être considéré par hypothèse que le cube d'intégration de DAS est placé directement contre la surface d'un fantôme plan. L'axe des z est perpendiculaire à la surface du fantôme, et les axes du cube d'intégration sont alignés avec les axes du système de coordonnées.

Dans la Formule (48), les paramètres $\sigma_{x\text{peak}}$, $\sigma_{y\text{peak}}$, $\sigma_{x\text{sec}}$ et $\sigma_{y\text{sec}}$ sont définis comme suit:

$$\sigma_{x_{\text{peak}}} = \begin{cases} \sigma_{x_{\text{pp}}}, x' \geq -x_d / 2 \\ \sigma_{x_{\text{pn}}}, x' < -x_d / 2 \end{cases} \quad (51)$$

$$\sigma_{x_{\text{peak}}} = \begin{cases} \sigma_{x_{\text{pp}}}, x' \geq -x_d / 2 \\ \sigma_{x_{\text{pn}}}, x' < -x_d / 2 \end{cases} \quad (52)$$

$$\sigma_{x_{\text{sec}}} = \begin{cases} \sigma_{x_{\text{sp}}}, x' \geq x_d / 2 \\ \sigma_{x_{\text{sn}}}, x' < x_d / 2 \end{cases} \quad (53)$$

$$\sigma_{y_{\text{sec}}} = \begin{cases} \sigma_{y_{\text{sp}}}, y' \geq 0 \\ \sigma_{y_{\text{sn}}}, y' < 0 \end{cases} \quad (54)$$

Les paramètres pour la Formule (49) ont été choisis à partir des évaluations de différents combinés à 1 950 MHz. Ils sont présentés dans le Tableau 7. Le paramètre de décroissance a est dérivé de la régression de données expérimentales de balayage-zoom à 1 950 MHz avec une courbe de décroissance exponentielle et du calcul de la moyenne des résultats pour différents combinés.

Tableau 7 – Paramètres pour la fonction de référence f_1 de la Formule (48)

Nombre de maxima	A_1 [W/kg]	A_2 [W/kg]	a [mm]	x_d [mm]	$\sigma_{x_{\text{pp}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{pp}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{sp}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{sp}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{pn}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{pn}}}$ [mm]	$\sigma_{x_{\text{sn}}}$ [mm]	$\sigma_{y_{\text{sn}}}$ [mm]
1	1,2	0,0	11,9	n.a.	19,6	15,5	n.a.	n.a.	21,9	17,2	n.a.	n.a.
2	1,2	1,0	11,9	60,47	22,6	19,7	19,4	19,6	22,0	15,5	17,9	24,2

Dans les Formules (48), (49) et (50), les paramètres sont définis comme suit:

$$x' = x + d$$

$$y' = y + d$$

où d est le paramètre de décalage;

$$a = 20 \text{ mm};$$

$$A = 1 \text{ W/kg}.$$

Les paramètres a et A ci-dessus s'appliquent uniquement aux Formules (49) et (50). Ils n'ont pas de signification physique particulière autre que la génération des distributions de DAS appropriées. Par exemple, une valeur de $d = 2,5 \text{ mm}$ produit une dérive latérale de la distribution de DAS telle que la position du maximum ne soit pas alignée avec une grille de mesure ayant un incrément de 5 mm. Ce décalage est utilisé pour l'essai de sous-programmes du logiciel de recherche de maxima et d'incertitude. N_{eff} représente la variance du bruit du système (en W/kg) dans le liquide en l'absence de signal RF. Dans un système de mesure, ce paramètre est dépendant du système et correspond au bruit mesuré à l'intérieur du liquide en l'absence de signal RF. Cependant, à des fins analytiques, une valeur fixe de N_{eff} doit être utilisée. Pour l'évaluation de la fonction de référence f_3 , $N_{\text{eff}} = 0,1 \text{ W/kg}$ doit être utilisé, correspondant à un rapport signal sur bruit de $10 \log_{10}(A/N_{\text{eff}}) = 10 \text{ dB}$ à l'emplacement du DAS maximal moyenné. $\text{rnd}(\zeta)$ est une fonction qui retourne des nombres aléatoires à distribution normale à chaque point sur la grille de mesure. $\text{rnd}(\zeta)$ a une signification de zéro et un écart-type de 1. Des fonctions appropriées sont disponibles dans des applications de mathématiques courantes. La variable ζ est une valeur initiale arbitraire.

Les valeurs de référence de DAS provenant des fonctions de distribution f_1 , f_2 , et f_3 pour des cubes de 1 g et 10 g alignés avec les axes de coordonnées (x , y , z) sont présentées aux points a) à e) ci-dessous. Ces valeurs de DAS ont été calculées avec une exactitude de 0,01 %.

- a) $DAS_{ref} = (f_1)_{1\text{ g}} = 0,791\text{ W/kg}$, $DAS_{ref} = (f_1)_{10\text{ g}} = 0,494\text{ W/kg}$; pour le cas d'un maximum;
- b) $DAS_{ref} = (f_1)_{1\text{ g}} = 0,796\text{ W/kg}$, $DAS_{ref} = (f_1)_{10\text{ g}} = 0,503\text{ W/kg}$; pour le cas d'un cube à deux maxima centrés sur le pic primaire;
- c) $DAS_{ref} = (f_1)_{1\text{ g}} = 0,686\text{ W/kg}$, $DAS_{ref} = (f_1)_{10\text{ g}} = 0,438\text{ W/kg}$; pour le cas d'un cube à deux maxima centrés sur le pic secondaire;
- d) $DAS_{ref} = (f_2)_{1\text{ g}} = 1,796\text{ W/kg}$, $DAS_{ref} = (f_2)_{10\text{ g}} = 1,375\text{ W/kg}$;
- e) $DAS_{ref} = (f_3)_{1\text{ g}} = 0,157\text{ W/kg}$, $DAS_{ref} = (f_3)_{10\text{ g}} = 0,026\text{ 8 W/kg}$.

Lorsque la fonction f_1 est étudiée, l'écart maximal par rapport aux valeurs de référence obtenues en considérant les cas à un maximum et deux maxima doit être utilisé pour les calculs d'incertitude post-traitement.

Ces valeurs de référence sont utilisées dans les paragraphes suivants pour soumettre à l'essai les algorithmes post-traitement utilisés par les balayages de surface et balayages-zoom.

7.2.10.3 Évaluations des incertitudes des algorithmes de traitement de données

7.2.10.3.1 Évaluation du balayage de surface à grosse maille

Les algorithmes d'interpolation du balayage de surface doivent être capables de situer les coordonnées de DAS maximal moyenné avec une exactitude de $\pm L_z/2$ mm ou mieux, où L_z est la longueur du côté du volume de balayage-zoom. Si cette condition préalable est remplie, ce qui est soumis à l'essai avec les procédures de 7.2.10.3.1, l'évaluation du balayage de surface ne contribue pas au bilan d'incertitude.

Les valeurs des fonctions de référence calculées aux points d'une grille de balayage de surface usuelle sont entrées dans le logiciel du système. L'algorithme d'interpolation traite ces points de données comme s'ils résultaient de mesurages pour compléter le balayage de surface et déterminer la position du DAS maximal moyenné (x_{eval} , y_{eval}). Cette dernière est comparée à la position réelle de maximum définie par les fonctions analytiques à (x_{ref} , y_{ref}), avec un paramètre de décalage d , tel que défini en 7.2.10.2 pour x' et y' pour les Formules (48), (49) et (50). Les indices "eval" et "ref" correspondent respectivement à évaluation et référence. En d'autres termes, les inégalités suivantes doivent être respectées:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z/2, |y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z/2 \quad (55)$$

La procédure suivante doit être utilisée pour évaluer l'incertitude des algorithmes d'interpolation utilisés dans le balayage de surface pour déterminer la position du DAS maximal.

- a) Choisir la résolution de mesure (Δx , Δy), et le nombre de points d'évaluation (correspondant au mesurage) (N_x , N_y). Le centre du balayage de surface doit être défini à $(x_0, y_0) = (0, 0)$.
- b) Les valeurs de DAS sont calculées en utilisant les fonctions f_1 , f_2 et f_3 aux points de la grille d'évaluation de balayage de surface dans les plages suivantes:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \leq x \leq x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2], \quad (56)$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \leq y \leq y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2], \quad (57)$$

où N_x et N_y sont des entiers impairs. Une valeur de $z = 0$ est retenue puisque la position du maximum est indépendante de z pour les trois fonctions.

Les valeurs de DAS calculées par ces trois fonctions de distribution sont interpolées par le système de mesure du DAS avec une résolution spatiale de $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ selon les fonctions d'interpolation $g_i(x)$ et $g_i(y)$ utilisées par le système pour déterminer la position du DAS maximal moyenné (x_{eval}, y_{eval}) . Si le système de mesure ne permet pas d'introduire des valeurs de DAS pour effectuer l'évaluation, le même algorithme doit être mis en œuvre indépendamment par d'autres moyens pour déterminer les incertitudes de l'interpolation et de la recherche de maximum.

La position du DAS maximal moyenné déterminée par les algorithmes d'interpolation doit répondre aux exigences des inégalités de la Formule (55). Sinon, les systèmes de mesure et de traitement de données doivent utiliser des grilles de plus fine résolution et/ou un plus grand nombre de points d'interpolation pour répéter l'évaluation à partir de l'Étape b).

Le centre du balayage de surface (x_0, y_0) doit être déplacé par incréments de 1 mm dans la plage $0 < x_0 \leq \Delta x/2$ et $0 < y_0 \leq \Delta y/2$ pour répéter l'évaluation à partir de l'Étape b) pour chaque déplacement (x_0, y_0) dans ces plages.

7.2.10.3.2 Évaluation du balayage-zoom

Le balayage-zoom est évalué en comparant les valeurs les plus élevées de DAS sur 1 g et sur 10 g aux valeurs de DAS de référence données en 7.2.10.2. En utilisant la procédure de balayage de surface donnée en 7.2.10.3.1, la vraie position (x_{ref}, y_{ref}) du maximum est déplacée de la position du maximum estimée (x_{eval}, y_{eval}) d'une valeur égale à la quantité donnée par les inégalités dans la Formule (55). Ce déplacement est pris en compte dans les fonctions de référence f_1, f_2 , et f_3 de 7.2.10.2 en incorporant la distance d . Étant donné que dans la pratique, ce déplacement varie, la valeur de d doit varier sur la plage:

$$|d| \leq (L_z - L_c)/2 \quad (58)$$

où L_c est la longueur du côté du cube (10 mm pour 1 g, 21,5 mm pour 10 g). Pour chaque distance d , l'incertitude maximale produite par chacune des trois fonctions est enregistrée. La valeur efficace de la plus grande valeur d'incertitude pour plusieurs distances d est entrée comme étant l'incertitude due à l'extrapolation, l'interpolation et l'intégration.

Bien que l'exigence pour le balayage de surface soit que la position du DAS maximal moyenné local soit située dans $|d| \leq L_z/2$, une petite plage de $|d| \leq (L_z - L_c)/2$ est utilisée ici pour assurer que le cube de 1 g ou 10 g puisse être calculé dès la première tentative. Pour les valeurs de $(L_z - L_c)/2$ et $|d| \leq L_z/2$, le logiciel de mesure doit avertir que le cube de 1 g ou 10 g n'est pas saisi et que le mesurage doit être refait. Cela n'affecte pas l'incertitude et ainsi il n'est pas nécessaire de considérer ce cas ici.

La procédure est la suivante.

- Choisir un déplacement d pour l'évaluation des fonctions f_1, f_2 et f_3 . d doit varier de $-(L_z - L_c)/2$ à $+(L_z - L_c)/2$ par petits incréments (par exemple, des incréments de 1 mm). Le déplacement doit également varier séparément dans les directions x et y .
- Les valeurs de DAS sont calculées selon les fonctions f_1, f_2 et f_3 , aux points de la grille d'évaluation qui correspondent aux points mesurés du volume de balayage-zoom. Le volume du balayage-zoom doit être centré à:

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + d_{be}) \quad (59)$$

où

L_h est la hauteur du volume de balayage-zoom;

d_{be} est la distance du point de mesure le plus proche de la surface intérieure du fantôme.

- c) Les valeurs de DAS calculées sont extrapolées à la surface du fantôme, à $z = 0$, par le logiciel du système pour obtenir les points supplémentaires, dans le volume de balayage-zoom, qui ne peuvent être mesurés à cause des contraintes de la sonde. Les points de données calculés et ceux extrapolés sont ensuite interpolés par le logiciel du système pour obtenir une meilleure résolution, par l'application des algorithmes d'intégration et de l'algorithme de recherche pour trouver le DAS maximal moyenné à l'intérieur des volumes de balayage-zoom pour déterminer le DAS maximal moyenné le plus élevé pour 1 g ou pour 10 g. D'autres procédures sont possibles. Si le système ne permet pas d'introduire des valeurs de DAS pour effectuer l'évaluation, le même algorithme doit être mis en œuvre indépendamment par d'autres moyens pour soumettre à l'essai les algorithmes d'extrapolation, d'interpolation et d'intégration.
- d) Les valeurs de DAS maximal moyenné sur 1 g et sur 10 g déterminées par le système ou le logiciel de traitement de données (DAS_{eval}) sont comparées aux valeurs DAS de référence indiquées en 7.2.10.2. L'écart-type causé par le bruit aléatoire ($DAS_{écart-type}$ (N_{eff})) est déterminé en évaluant f_3 au moins 4 000 fois, et avec chacune des 4 000 évaluations ou plus en utilisant différents paramètres de bruit aléatoire. L'incertitude du DAS pour les fonctions de distribution f_1 et f_2 est calculée en utilisant la Formule (60):

$$DAS_{incertitude}[\%] = 100 \times \left| \frac{DAS_{eval} - DAS_{ref}}{DAS_{ref}} \right| \quad (60)$$

L'incertitude du DAS pour la fonction de distribution f_3 est calculée en utilisant la Formule (61):

$$DAS_{incertitude}[\%] = 100 \times \left| \frac{DAS_{eval} - DAS_{ref}}{DAS_{ref}} \right| + 100\sqrt{3} \times \left| \frac{DAS_{écart-type}(N_{eff})}{DAS_{ref}} \right| \quad (61)$$

- e) L'incertitude de DAS la plus élevée estimée par les trois fonctions de distribution est enregistrée.
- f) Répéter les Étapes b) à e) pour d'autres valeurs de déplacement d .
- g) Calculer les valeurs efficaces des incertitudes calculées à l'Étape d) pour chaque déplacement d ci-dessus. Cette valeur doit être entrée comme étant l'incertitude due à l'extrapolation, à l'interpolation et à l'intégration dans les colonnes et lignes correspondantes du Tableau 11, du Tableau 12 et du Tableau 13, et une loi de probabilité rectangulaire doit être utilisée.
- h) Enregistrer les paramètres suivants utilisés pour estimer l'incertitude du balayage-zoom:
- dimension de la grille utilisée pour échantillonner les fonctions de référence à la fois en termes de nombre de points et en termes d'échantillons dans les trois dimensions;
 - nombre de points d'interpolation inclus entre deux points d'essai, ou résolution de l'interpolation dans les trois directions, pour les fonctions de référence.
 - dimension de la région d'extrapolation, c'est-à-dire la distance entre la position des capteurs de la sonde au premier point de mesure et la surface du fantôme (le point de mesure est en arrière par rapport à l'extrémité de la sonde);
 - algorithmes d'interpolation, d'extrapolation et d'intégration utilisés.

Les conditions de calcul (telles que le nombre de points de la grille, les incréments de grille et le nombre de points d'interpolation dans les trois directions) doivent être les mêmes pour toutes les fonctions.

7.2.10.4 Évaluation des surfaces courbes

Les procédures en 7.2.10.3 partent du principe que la frontière entre le liquide équivalent aux tissus et le fantôme est plane. Cependant, l'incertitude estimée avec ces fonctions pour des frontières planes entre le liquide équivalent aux tissus et le fantôme est également valide pour des surfaces courbes lisses, à condition que les quatre faces latérales soient parallèles à la droite perpendiculaire au fantôme au centre de la face de cube adjacente à la surface du fantôme. Le fait que la fonction soit basée sur une surface plane n'impose aucune restriction à l'applicabilité des essais si la procédure est basée sur des distances équivalentes entre la grille et les surfaces. Cela produit des volumes d'intégration tels que représentés à la Figure 10. Cependant, l'incertitude estimée avec ces fonctions pour les frontières planes entre le liquide équivalent aux tissus et le fantôme est aussi valide pour les surfaces courbes lisses. La Figure 10 représente une méthode acceptable pour former les cubes pendant le post-traitement des données DAS. La face avant du volume en regard de l'interface fantôme/liquide épouse la frontière incurvée pour assurer que tous les DAS maximal sont acquis. La face arrière doit être déformée de la même façon pour maintenir une masse d'intégration correcte.

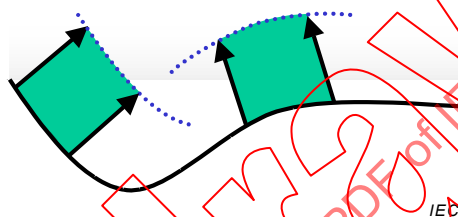


Figure 10 – Orientation et surface du volume d'intégration par rapport à la surface du fantôme

7.2.11 Incertitude de mise à l'échelle de DAS

Les incertitudes de la mise à l'échelle de DAS (voir 6.2.3.5) en fonction du niveau de DAS sont associées à des non-linéarités du signal et aux étages d'amplificateur RF, la largeur de bande de signal de modulation et l'impédance de l'antenne.

Pour l'incertitude de mise à l'échelle de DAS, une loi de probabilité rectangulaire doit être retenue. L'incertitude est évaluée par détermination du DAS de mod_Y à l'emplacement du DAS maximal moyenné (x_p, y_p, z_p) en utilisant la procédure suivante:

- Effectuer un balayage de surface avec mod_X conformément à 6.4.2.
- Déplacer la sonde à l'emplacement maximal du balayage de surface.
- Relever la lecture de DAS à l'emplacement maximal avec mod_X .
- Commuer le dispositif sur mod_Y (sans déplacer le dispositif).
- Relever la lecture de DAS avec mod_Y .
- Calculer le rapport des DAS_{mod_Y} mesurés et mis à l'échelle en utilisant la Formule (62):

$$DAS_{\text{incertitude\_échelle}} = \left(\frac{DAS(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}_Y}}{DAS(x_p, y_p, z_p)_{\text{mod}_X} \cdot R_p} - 1 \right) \times 100\% \quad (62)$$

avec R_p comme le rapport de puissance de sortie RF moyennée de mod_X et mod_Y conformément à 6.2.3.5.

Si $DAS_{\text{incertitude\_échelle}} > 5\%$, ne pas utiliser la mise à l'échelle, mais effectuer plutôt l'évaluation complète de DAS pour mod_Y .

7.2.12 Écart des sources expérimentales

Les sources de *validation du système* à l'Annexe G sont bien définies et ont été simulées pour obtenir des valeurs de référence numériques en utilisant des codes numériques validés. Cependant, les incertitudes mécaniques et électriques de la source spécifique affectent les valeurs résultantes de DAS maximal moyenné, par exemple, différentes impédances de point d'alimentation et distribution de courant en fonction de la distance, enveloppe de fantôme, liquide, etc. En d'autres termes, les valeurs cibles numériques sont valides pour les sources spécifiques et les exigences de configuration de montage. L'écart par rapport aux valeurs cibles doit être déterminé par des évaluations de type A ou de type B. Il convient que les évaluations de type A utilisent une évaluation statistique de plusieurs mesurages en utilisant différents liquides, sondes et fantômes. Pour des évaluations de type B, il est nécessaire que tous les paramètres soient évalués de façon expérimentale. Les valeurs numériques cibles sont établies par des simulations numériques et un étalonnage de laboratoire validé.

Pour la source de guide d'ondes, le Tableau 8 présente les contributions aux écarts de la source de guide d'ondes par rapport à la théorie.

Tableau 8 – Incertitudes associées aux écarts des paramètres de la source de guide d'ondes normalisé par rapport à la théorie

Symbole	Source d'incertitude	Valeur (± %)	Loi de probabilité	Diviseur	c_i 1 g/10 g	u_i ± %	v_i
ΔTE_{01}	Variation par rapport au mode de guide d'ondes théorique dans un liquide	5,0	Rectangulaire	3	1	2,9	∞
L, W	Dimensions du guide d'ondes	1,0	Normal	1	1	1,0	∞
u_c	Incertitude composée		RSS		±	3,1	∞

Pour la source de dipôle, des contributions à l'écart de dipôles expérimentaux par rapport à la théorie comprennent des variations des paramètres physiques décrites à l'Annexe G.

L'incertitude composée des écarts des sources expérimentales par rapport à la théorie est entrée dans le Tableau 12 et le Tableau 13 en retenant une loi de probabilité normale.

7.2.13 Autres contributions à l'incertitude lors de l'utilisation de sources de *validation du système*

En plus des termes d'incertitude pour la source de *validation du système* décrite par ailleurs, des termes supplémentaires doivent être ajoutés dans le bilan d'incertitude. Ces termes dépendent du type de source de *validation du système* utilisée. Ces termes dépendent du type de source de *validation du système* utilisée. Pour une source de dipôle, un tel terme peut être la distance de l'axe du dipôle au liquide, et pour une source de guide d'ondes, un tel terme peut être l'erreur d'adaptation. Le Tableau 9 et Tableau 10 présentent les termes d'incertitude pour la source de dipôle et la source de guide d'ondes, respectivement. L'incertitude de mesure élargie du Tableau 10 doit être à moins de ± 10 % pour $k = 2$. Ces termes supplémentaires d'incertitude sont entrés dans la ligne "Autres contributions de source" du Tableau 12 et du Tableau 13.

NOTE 1 Les valeurs numériques dans les Tableau 10 et Tableau 11 sont uniquement des exemples et il convient de ne pas considérer par hypothèse qu'elles représentent les valeurs pour des sources spécifiques.

NOTE 2 Le guide d'ondes est placé directement contre le fantôme, comme décrit à l'Annexe G. Par conséquent, aucun terme d'incertitude n'est nécessaire pour prendre en compte la distance au fantôme, comme avec l'antenne de dipôle.

Tableau 9 – Autres contributions à l'incertitude associées aux sources de dipôle décrites à l'Annexe G

Source d'incertitude	Valeur (± %)	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	u_i (± %)	ν_i
Distance de l'axe du dipôle au liquide	2,0	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	1,2	∞

Tableau 10 – Autres contributions à l'incertitude associées aux sources de guide d'ondes normalisé décrites à l'Annexe G

Source d'incertitude	Valeur (± %)	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	u_i (± %)	ν_i
Erreur d'adaptation pour le système ^a	5,0	Forme de U	$\sqrt{2}$	1	3,5	∞
Incertitude de mesure de perte de transmission de puissance d'adaptateur et de guide d'ondes.	1,0	Normale	2	1	0,5	∞
Incertitude composée		RSS		$\pm$	3,5	∞
^a Calculé pour un affaiblissement de réflexion de 8 dB pour le guide d'ondes, un affaiblissement de réflexion de 30 dB pour le capteur de puissance, et un affaiblissement de réflexion de 25 dB pour le port de sortie du coupleur.						

7.3 Calcul du bilan d'incertitude

7.3.1 Incertitudes composées et élargies

Les contributions de chaque composante de l'incertitude doivent être enregistrées avec la description, loi de probabilité, coefficient de sensibilité et valeur de l'incertitude. Un format de tableau recommandé est présenté dans le Tableau 11. L'incertitude-type composée u_c doit être estimée selon la Formule (63).

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2} \quad (63)$$

où c_i est le coefficient de sensibilité, et u_i est l'incertitude-type. L'incertitude élargie U doit être estimée en utilisant un intervalle de confiance de 95 %.

7.3.2 Incertitude élargie maximale

L'incertitude élargie avec un intervalle de confiance de 95 % ne doit pas dépasser 30 % pour les valeurs de DAS maximal moyenné dans la plage de 0,4 W/kg à 10 W/kg.

Si l'incertitude de mesure réelle (inc_{mes}) n'est pas inférieure à ± 30 %, il peut être nécessaire que le psDAS rapporté ($psSAR_{corrigé}$) prenne en compte le pourcentage de différence entre l'incertitude réelle et la valeur cible de ± 30 % par

$$psSAR_{corrigé} = psSAR_{mes} (1 + inc_{mes} - 0,3) \text{ pour } inc_{mes} > 0,3 \quad (64)$$

où $psSAR_{mes}$ est la valeur mesurée de DAS maximal moyenné. Noter que la linéarité et le niveau de bruit doivent être vérifiés au-delà des valeurs ci-dessus en raison du rapport signal

sur bruit exigé et du rapport important valeur de crête sur valeur moyenne de certains signaux de communication.

Pour les valeurs de DAS maximal moyenné sur 1 g hors de la plage de 0,4 W/kg à 10 W/kg, des procédures et des considérations supplémentaires, non incluses ici, peuvent être exigées pour obtenir une incertitude ne dépassant pas 30 %, comme cela est recommandé pour des valeurs mesurées dans cette plage. Dans tous les cas, l'incertitude de mesure doit accompagner les résultats de DAS mesuré dans le rapport d'essai. L'incertitude de mesure élargie du Tableau 13 doit être à moins de ± 10 % pour $k = 2$.

Le Tableau 13 présente la reproductibilité pour un *contrôle du système* (voir l'Article D.2). La reproductibilité du *contrôle du système* prend en compte la variation des mesurages de *contrôle du système* dans le temps sur le même système de mesure ou sur plusieurs systèmes de même type et de même fabricant. Cela indique que le système fonctionne selon ses spécifications. Les défaillances du système à dérive élevée et les erreurs de l'opérateur peuvent être facilement détectées si l'écart par rapport à la valeur cible du dipôle pendant le *contrôle du système* est plus élevé que la reproductibilité de l'incertitude du *contrôle du système*.

Tableau 11 – Exemple de fiche d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai de DAS du combiné

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _i ou v _{eff}
Système de mesure									
Étalonnage de la sonde	Annexe B	4,8	N	1	1	1	4,8	4,8	∞
Isotropie axiale	7.2.2.2	4,7	R	√3	√0,5	√0,5	1,9	1,9	∞
Isotropie hémisphérique	7.2.2.2	9,6	R	√3	√0,5	√0,5	3,9	3,9	∞
Effet de bord	7.2.2.5	8,3	R	√3	1	1	4,8	4,8	∞
Linéarité	7.2.2.3	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
Limites de détection	7.2.2.3	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Réponse en modulation	7.2.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Lectures électroniques	7.2.2.6	1,0	N	1	1	1	1,0	1,0	∞
Temps de réponse	7.2.2.7	0,8	R	√3	1	1	0,5	0,5	∞
Temps d'intégration	7.2.2.8	1,4	R	√3	1	1	0,8	0,8	∞
Conditions RF ambiantes – bruit	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Conditions RF ambiantes – réflexions	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Tolérance mécanique du positionneur de sonde	7.2.3.1	0,4	R	√3	1	1	0,2	0,2	∞
Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme	7.2.3.2	2,9	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Post-traitement	7.2.10	3,9	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _f (1 g)	c _g (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _f ou v _{eff}
Échantillon à l'essai									
Positionnement de l'échantillon d'essai	7.2.5.3	6,0	N	1	1	1	6,0	6,0	11
Incertitude du support de dispositif	7.2.5.2	5,0	N	1	1	1	5,0	5,0	7
Mesurage de dérive de DAS	7.2.8	5,0	R	√3	1	1	2,9	2,9	∞
Mise à l'échelle de DAS	7.2.11	2,0	R	√3	1	1	1,2	1,2	∞
Fantôme et montage									
Incertitude du fantôme (incertitude de forme et d'épaisseur)	7.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Conductivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	1,7	R	√3	0,78	0,71	0,8	0,7	∞
Conductivité du liquide (mesurée)	7.2.6.3, 7.2.6.5	5,5	N	1	0,78	0,71	4,3	3,9	5
Permittivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	2,7	R	√3	0,23	0,26	0,4	0,4	∞
Permittivité du liquide (mesurée)	7.2.6.4, 7.2.6.5	2,9	N	1	0,23	0,26	0,7	0,8	5
Incertitude-type composée			RSS				13,9	13,7	136
Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %)			k = 2				27,8	27,5	

Les valeurs des composantes dans ce tableau sont présentées à titre d'exemple uniquement et ne sont pas destinées à représenter l'incertitude de mesure d'un système d'essai de DAS spécifique quelconque. L'incertitude de mesure pour un combiné spécifique soumis à l'essai avec un système d'essai de DAS spécifique doit être évaluée individuellement.

NOTE 1 Les en-têtes de colonne a à k sont présentés pour référence.

NOTE 2 Abréviations utilisées dans ce tableau:

- a) RSS – somme quadratique;
- b) N, R, U – lois de probabilité normale, rectangulaire, en U;
- c) Div. – diviseur utilisé pour obtenir l'incertitude-type.

NOTE 3 Les composantes d'incertitude indiquées dans ce tableau sont fondées sur les procédures et les protocoles d'essai développés pour la présente Norme. Quand les protocoles et les procédures d'essai varient, des composantes d'incertitudes différentes peuvent s'appliquer, par exemple des paramètres définis pour soumettre à l'essai d'autres configurations de fantôme et d'autres positions de dispositif.

NOTE 4 Le diviseur est une fonction de la loi de probabilité.

NOTE 5 c_j est le coefficient de sensibilité qui est appliqué pour convertir la variabilité de la composante d'incertitude en variabilité de DAS.

NOTE 6 Voir 7.1.3 pour les discussions sur les degrés de liberté (ν_j) pour l'incertitude-type et les degrés de liberté effectifs (ν_{eff}) pour l'incertitude élargie.

NOTE 7 Les nombres de la Colonne k correspondent au nombre d'essais (M ou N dans les articles respectifs).

NOTE 8 Utiliser une loi rectangulaire et $\nu_j = \infty$ lorsque l'incertitude de support de dispositif est dérivée d'un essai de dispositif unique.

NOTE 9 Plusieurs grands effets d'influence sur l'incertitude peuvent être estimés à partir des spécifications de performance fournies par le fabricant de l'équipement. Il peut être nécessaire d'estimer l'incertitude de certaines autres composantes qui varient suivant les essais pour chaque mesurage.

Tableau 12 – Exemple de fiche d'évaluation d'incertitude de mesure pour la validation du système

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _i ou v _{eff}
Système de mesure									
Étalonnage de la sonde	Annexe B	4,8	N	1	1	1	4,8	4,8	∞
Isotropie axiale	7.2.2.2	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
Isotropie hémisphérique	7.2.2.2	9,6	R	√3	0	0	0,0	0,0	∞
Effet de bord	7.2.2.5	8,3	R	√3	1	1	4,8	4,8	∞
Linéarité	7.2.2.3	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
Limites de détection	7.2.2.3	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Réponse en modulation	7.2.2.4	0	R	√3	0	0	0,0	0,0	∞
Lectures électroniques	7.2.2.6	1,0	N	1	1	1	1,0	1,0	∞
Temps de réponse	7.2.2.7	0,8	R	√3	0	0	0,0	0,0	∞
Temps d'intégration	7.2.2.8	1,4	R	√3	0	0	0,0	0,0	∞
Conditions RF ambiantes – bruit	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Conditions RF ambiantes – réflexions	7.2.9	3,0	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Tolérance mécanique du positionneur de sonde	7.2.3.1	0,4	R	√3	1	1	0,2	0,2	∞
Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme	7.2.3.2	2,9	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
Post-traitement	7.2.10	3,9	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _i ou v _{eff}
Source de validation du système									
Écart de la source expérimentale par rapport à la source numérique	7.2.12	5,0	N	1	1	1	5,0	5,0	∞
Puissance d'entrée et mesurage de dérive de DAS	7.2.8	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
Autres contributions de source	7.2.13	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Fantôme et montage									
Incertitude du fantôme (incertitude de forme et d'épaisseur)	7.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Conductivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	1,7	R	√3	0,78	0,71	0,8	0,7	∞
Conductivité du liquide (mesurée)	7.2.6.3, 7.2.6.5	5,5	N	1	0,78	0,71	4,3	3,9	5
Permittivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	2,7	R	√3	0,23	0,26	0,4	0,4	∞
Permittivité du liquide (mesurée)	7.2.6.4, 7.2.6.5	2,9	N	1	0,23	0,26	0,7	0,8	5
Incertitude-type composée			RSS				11,7	11,5	276
Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %)			k = 2				23,4	23,1	

Les valeurs des composantes dans ce tableau sont présentées à titre d'exemple uniquement et ne sont pas destinées à représenter l'incertitude de mesure d'un système d'essai de DAS spécifique quelconque. L'incertitude de mesure pour un combiné spécifique soumis à l'essai avec un système d'essai de DAS spécifique doit être évaluée individuellement.

Voir les NOTES 1 à 9 dans le Tableau 11.

NOTE 10 Toutes les sources d'incertitude dans le Tableau 12 et le Tableau 13 sont applicables aux essais de *validation du système* et de *contrôle du système*. Ici, les trois entrées du groupe "Échantillons à l'essai" sont remplacées par un groupe "Source de validation du système" ou "Source de contrôle du système" contenant deux grands effets d'influence décrites comme: "Écart entre des dipôles expérimentaux", "Puissance d'entrée et mesurage de dérive de DAS" et "Autres contributions de source".

NOTE 11 Les exemples de sources d'incertitude dans le Tableau 12 et le Tableau 13 sont spécifiques aux sources d'antenne de dipôle. Si d'autres sources sont utilisées, les valeurs de l'incertitude sont différentes, comme expliqué en 7.2.13.

Tableau 13 – Exemple de fiche d'évaluation de répétabilité de mesure pour le contrôle du système (applicable pour un système)

a	b	c	d	e = $f(d/k)$	f	g	h = $c \times f / e$	i = $c \times g / e$	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v_i ou v_{eff}
Système de mesure									
Dérive d'étalonnage de sonde	a	2,0	N	1	1	1	2,0	2,0	∞
Isotropie axiale	7.2.2.2	4,7	R	√3	0	0	0	0	∞
Isotropie hémisphérique	7.2.2.2	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Effet de bord	7.2.2.5	8,3	R	√3	0	0	0	0	∞
Linéarité	7.2.2.3	4,7	R	√3	0	0	0	0	∞
Limites de détection	7.2.2.3	1,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Réponse en modulation	7.2.2.4	4,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Lectures électroniques	7.2.2.6	4,0	N	1	0	0	0	0	∞
Temps de réponse	7.2.2.7	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Temps d'intégration	7.2.2.8	0,0	R	√3	0	0	0	0	∞
Conditions RF ambiantes – bruit	7.2.9	3,0	R	√3	0	0	0	0	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _i ou v _{eff}
Conditions RF ambiantes – réflexions	7.2.9	3,0	R	√3	0	0	0	0	∞
	7.2.3.1	0,4	R	√3	1	1	0,2	0,2	∞
	7.2.3.2	2,9	R	√3	1	1	1,7	1,7	∞
	7.2.10	3,9	R	√3	0	0	0	0	∞
Source de contrôle du système									
Écart entre des dipôles expérimentaux	7.2.12	2,0	N	1	1	1	2,0	2,0	∞
	7.2.8	4,7	R	√3	1	1	2,7	2,7	∞
	7.2.13	1,0	R	√3	1	1	0,6	0,6	∞
Fantôme et montage									
Incertitude du fantôme (incertitude de forme et d'épaisseur)	7.2.4	4,0	R	√3	1	1	2,3	2,3	∞
	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	7.2.6.6, 7.2.6.5	1,7	R	√3	0,78	0,71	0,8	0,7	∞
	7.2.6.3, 7.2.6.5	5,5	N	1	0,78	0,71	4,3	3,9	5
Permittivité relative du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	2,7	R	√3	0,23	0,26	0,4	0,4	∞
	7.2.6.4, 7.2.6.5	2,9	N	1	0,23	0,26	0,7	0,8	5
Incertitude-type composée			RSS				6,9	6,6	33

7.4 Incertitude de méthodes rapides de DAS basées sur des procédures de mesure et des techniques de post-traitement spécifiques

7.4.1 Généralités

Une classe de méthodes rapides de DAS est basée sur des mesurages effectués par un matériel qui est conforme aux exigences de la présente Norme internationale, mais des techniques spéciales sont appliquées afin d'améliorer la vitesse de mesure. Pour la classe de méthodes rapides de DAS ci-dessus, l'incertitude doit être déterminée selon 7.4.2.

7.4.2 Évaluation d'incertitude de mesure

7.4.2.1 Généralités

Deux bilans d'incertitude sont présentés en 7.4.2.

- a) Le Tableau 14 est le bilan d'incertitude à utiliser lorsqu'une méthode rapide de DAS est appliquée. Lorsque des évaluations relatives sont réalisées, les décalages fixes doivent être inclus dans l'incertitude. De plus, des décalages fixes qui sont spécifiques à la fréquence et au mode de fonctionnement (par exemple, des décalages dus à l'incertitude et la modulation d'étalonnage) doivent être inclus.
- b) Le Tableau 15 est le bilan d'incertitude pour le *contrôle du système* pour des évaluations de DAS rapides. Ce bilan d'incertitude est très similaire au bilan d'incertitude du Tableau 13.
- c) L'incertitude de mesure pour un mesurage rapide de DAS est basée sur les valeurs relatives, pour les raisons décrites ci-dessus. Toutes les contributions à l'incertitude affectant les niveaux relatifs du DAS maximal moyenné doivent être calculées d'une façon rigoureuse, en utilisant des techniques statistiques présentées à l'Article 7 le cas échéant. Une description des procédures utilisées pour les évaluations des contributions à l'incertitude doit être incluse dans le rapport de mesure. Le bilan d'incertitude de mesure décrit dans le Tableau 14 est l'incertitude relative de la valeur de DAS mesurée pour une configuration d'essai comparée au DAS mesuré des autres conditions d'essai qui ont été mesurées en utilisant le même matériel et la même méthode et en utilisant les mêmes paramètres diélectriques de liquide équivalent aux tissus. Afin de répondre dans la pratique à cette dernière exigence, les variations de température de liquide maximales doivent être celles spécifiées en 5.1.

Les termes d'incertitude suivants sont considérés comme étant négligeables pour l'incertitude relative de mesurages rapides de DAS utilisés dans les mêmes bandes de fréquences et modulation. Ces termes d'incertitude ont un coefficient de pondération de $c_i = 0$ dans le Tableau 14.

- **Étalonnage de sonde:** Ce terme est négligeable si la même sonde est utilisée pour tous les essais rapides de DAS, et l'incertitude d'étalonnage représente un décalage fixe pour une sonde avec une modulation et une bande de fréquences données.
La même sonde doit être utilisée pour tous les essais si une contribution nulle à l'incertitude d'étalonnage de la sonde est retenue dans le Tableau 14.
- **Temps de réponse:** Pour des évaluations relatives, l'écart de DAS mesuré dû à un temps fixe passé par la sonde à un emplacement de mesure est identique, par conséquent ce terme peut être négligé.
- **Conditions RF ambiantes dues à des réflexions:** L'influence des réflexions est la même si les mesurages rapides de DAS sont effectués dans le même laboratoire dans les mêmes conditions et à la même fréquence de mesure.
- **Mise à l'échelle de DAS:** Ce terme est négligeable étant donné que la même modulation est utilisée pour tous les mesurages rapides de DAS, qui sont regroupés pour chaque modulation spécifique au début des procédures rapides de DAS.
- **Incertainitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité:** Si le même liquide équivalent aux tissus est utilisé et répond aux exigences spécifiées en 5.1 sur toute la durée des essais rapides de DAS, ce terme est négligeable.

- **Mesurage de conductivité du liquide:** L'incertitude de mesure de paramètre diélectrique de liquide est négligeable si les mêmes paramètres diélectriques sont utilisés pour tous les essais étant donné que l'évaluation de DAS rapide est une évaluation relative.
- **Mesurage de permittivité du liquide:** Ce terme est également négligeable pour la même raison indiquée ci-dessus.
- **Conductivité du liquide – incertitude de température:** Les mêmes liquides et températures de liquide sont utilisés pour l'essai rapide de DAS, de sorte que ce terme d'incertitude est négligeable.
- **Permittivité du liquide – incertitude de température:** Ce terme est négligeable pour la même raison indiquée ci-dessus.

NOTE Certains termes d'incertitude sont considérés comme étant identiques à ceux présentés dans le Tableau 11. Ils sont restreints aux termes d'incertitude qui sont associés aux différences de temps de mesure et des points mesurés utilisés dans des essais rapides de DAS à partir d'essais complets de DAS. L'évaluation de ces termes est décrite dans le paragraphe approprié de l'Article 7, comme indiqué dans le Tableau 14.

- **Isotropie axiale et hémisphérique:** Ce terme est applicable étant donné que la polarisation de champ incidente sur la sonde est différente à différents emplacements de mesure.
- **Effet de bord:** Les exigences de la distance de l'extrémité de la sonde à l'enveloppe du fantôme sont identiques et sont mesurées à la même fréquence, de sorte que le terme d'incertitude décrit en 7.2.2.5 doit être appliqué, mais la profondeur de pénétration utilisée pour déterminer l'incertitude doit être définie en fonction de la fréquence de mesure.
- **Linéarité:** Ce terme est applicable étant donné que les plages de niveaux de DAS mesurés lors de différents essais rapides de DAS sont différentes.
- **Limites de détection du système:** Ce terme d'incertitude est applicable pour les mêmes raisons que pour l'incertitude de linéarité.
- **Réponse en modulation:** Ce terme peut être une fonction fortement dépendante du niveau et de la modulation de DAS. Si la même sonde est utilisée pour tous les mesurages rapides de DAS, la réponse de la sonde à la même modulation est la même. Cependant, la plage de niveaux de DAS mesurés par la méthode rapide de DAS varie d'un essai à l'autre. Par conséquent, ce terme doit être appliqué.
- **Temps d'intégration:** Ce terme d'incertitude est dû aux écarts dans l'acquisition de modulation de signal sur un temps de mesure fixe, et il varie d'un point à l'autre. Les mêmes procédures sont applicables pour déterminer l'incertitude du temps d'intégration pour les mesurages rapides de DAS ainsi que pour les mesurages complets de DAS.
- **Conditions RF ambiantes dues au bruit:** Le bruit présent pendant le mesurage est applicable pour tous les mesurages.
- **Incertitude mécanique du positionneur de sonde:** Les écarts de positionnement de sonde conduisent à des fluctuations aléatoires des lectures et cela s'applique aussi bien aux mesurages de DAS relatifs qu'aux mesurages de DAS absolus.
- **Répétabilité du positionnement de sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme:** La répétabilité du positionnement de sonde est applicable à l'essai rapide de DAS pour les mêmes raisons indiquées ci-dessus.
- **Positionnement de l'échantillon d'essai:** Ce terme s'applique étant donné qu'une variabilité de positionnement du DUT est présente entre différents essais rapides de DAS.
- **Incertitude du support de dispositif:** Ce terme s'applique pour la même raison que pour l'incertitude de positionnement de l'échantillon d'essai.
- **Variation de la puissance de sortie (dérive de DAS):** La dérive de la puissance de sortie du dispositif lors d'essais rapides de DAS doit être appliquée. La valeur de ce terme peut être inférieure à celle pour l'essai complet de DAS, en raison du temps de mesure plus court.
- **Incertitude d'enveloppe de fantôme:** Si la même enveloppe de fantôme est utilisée pour tous les mesurages rapides de DAS, l'incertitude totale d'enveloppe du fantôme décrite en 7.2.4 n'est pas applicable. Cependant, pour la même enveloppe de fantôme, l'épaisseur peut varier d'un emplacement à l'autre. Par conséquent, la distance a utilisée dans les

Formules (34) et (35) doit être appliquée en fonction de l'écart maximal d'épaisseur prévu pour une enveloppe de fantôme, conformément aux informations fournies par le fabricant du fantôme. Le terme d'écart de permittivité de l'enveloppe dans la Formule (35) n'est pas appliqué, étant donné qu'il est attendu que des variations spatiales de la permittivité de la même enveloppe de fantôme aient un impact négligeable sur le DAS.

De plus, deux termes d'incertitude supplémentaires sont appliqués pour l'essai rapide de DAS:

- **Résolution spatiale (directions x et y):** décrit en 7.4.2.2.
- **Post-traitement de données de mesure:** décrit en 7.4.2.3.

Le bilan d'incertitude relative est présenté dans le Tableau 14. L'incertitude relative d'un système DAS rapide peut être inférieure à l'incertitude de mesure d'un système DAS complet, en raison de la présence des termes zéro dans certaines lignes du Tableau 14.

Des termes supplémentaires sont ajoutés pour prendre en compte le post-traitement des résultats de mesure de DAS associés à la méthode rapide de DAS utilisée. Ces termes sont dépendants des spécificités du système DAS rapide utilisé (par exemple, s'il utilise une grille régulière avec moins de points, si une grille irrégulière est utilisée, si des points dans la direction z sont utilisés, ou une combinaison de ceux-ci), et de la méthode d'estimation du DAS maximal moyenné à partir des valeurs mesurées (par exemple, interpolation, extrapolation, calcul de moyenne). Les méthodes rapides de DAS entrant dans la catégorie décrite en 6.6 sont basées sur des mesurages à des points qui sont différents de ceux dans les balayages de surface et/ou balayages-zoom décrits en 6.4. Les contributions à l'incertitude post-traitement sont affectées dans le bilan d'incertitude, étant donné que les méthodes rapides de DAS mentionnées en 6.6 modifient généralement les positions des points de mesure et utilisent un nombre réduit de points de mesure. Plus la résolution de la grille est grossière, plus le terme d'incertitude de mesure associé à la résolution spatiale est élevé, comme décrit en 7.4.2.2. Le post-traitement des données pour estimer le DAS maximal moyenné pour 1 g ou 10 g doit donc être évalué d'une façon qui est spécifique à la méthode rapide de DAS choisie. L'évaluation des contributions à l'incertitude doit comprendre l'analyse des termes d'extrapolation, d'interpolation et d'intégration utilisés pour déterminer le DAS maximal moyenné, en utilisant des méthodes (c'est-à-dire la définition de fonctions analytiques appropriées) qui peuvent être d'un point de vue conceptuel similaires à celles présentées en 7.2.10. L'incertitude post-traitement doit être basée sur l'examen des conditions théoriques les plus défavorables. Généralement, le développeur de la méthode rapide de DAS détermine l'incertitude de mesure.

Étant donné que la résolution de mesure d'un système DAS rapide peut ne pas être conforme à toutes les exigences normatives définies pour le balayage de surface et/ou le balayage-zoom, le terme d'incertitude pour les algorithmes d'extrapolation, d'interpolation et d'intégration utilisés pour l'essai complet de DAS est remplacé par des termes séparés pour la résolution spatiale et le post-traitement, comme décrit ci-dessous.

7.4.2.2 Résolution spatiale (directions x et y)

Il est attendu que l'utilisation de balayages de surface et de balayages-zoom modifiés introduise des incertitudes supplémentaires dans l'identification des emplacements de DAS maximal. Comme décrit à l'Article D.4, la plage de distributions de DAS et de fréquences qui sont prises en charge par la méthode rapide de DAS doit être fournie en tant que résultat de la validation de la méthode rapide de DAS. Ces distributions de DAS peuvent différer des fonctions de référence décrites en 7.2.10.2. De plus, les distributions prises en charge par la méthode rapide de DAS peuvent varier dans les directions x et y .

Les distributions de DAS dans les directions x et y sont en général données par les fonctions $f_x(x)$ et $f_y(y)$ dans les Formules (65) et (66), respectivement.

$$f_x(x) = A_x \exp \left[-\frac{(x - d_x)^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (65)$$

$$f_y(y) = A_y \exp \left[-\frac{(y - d_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad (66)$$

Dans les formules ci-dessus, A_x et A_y sont des amplitudes de normalisation de la même valeur ($A_x = A_y$), tandis que, σ_x et σ_y sont des constantes pour les gradients spatiaux dans les directions x et y , respectivement. Les termes d_x et d_y sont les coordonnées de l'emplacement de DAS maximal.

La procédure pour évaluer l'incertitude due à la résolution spatiale dans la direction x (ou y) est la suivante.

- Déterminer la plage de valeurs de σ_x [ou σ_y] à partir de la plage de distributions de DAS applicables à la méthode rapide de DAS (cette valeur peut être fournie par le développeur de la méthode rapide de DAS). Pour chaque valeur de σ_x [ou σ_y], suivre les Étapes b) à f).
- Pour chaque valeur de d_x [ou d_y] échelonnée par incréments de 1 mm de 0 à $\max(\Delta x)/2$ [ou $\max(\Delta y)/2$], c'est-à-dire, la moitié de la résolution de mesure la plus élevée du système DAS rapide, suivre les Étapes c) à f).
- Échantillonner la fonction $f_x(x)$ [ou $f_y(y)$] aux points correspondant à la résolution de mesure Δx [ou Δy] du système DAS rapide.
- Interpoler les points évalués conformément à la résolution d'interpolation et aux fonctions d'interpolation utilisées par la méthode rapide de DAS.
- Appliquer l'intégration de masse selon l'algorithme utilisé par la méthode rapide de DAS et identifier la valeur maximale moyennée sur 10 mm et 21,5 mm (correspondant à la longueur de cubes de 1 g et 10 g, respectivement).
- Comparer chacune des deux valeurs maximales moyennées calculées à l'Étape e) à la valeur analytique de l'intégrale des Formules (65) ou (66) sur le cube d'intégration (ou la valeur calculée pour une résolution d'échantillonnage de 1 mm pour les deux fonctions) et déterminer le pourcentage d'erreur entre elles.
- Enregistrer la valeur la plus élevée de l'ensemble des erreurs déterminées à l'Étape f) comme incertitude, avec une loi rectangulaire.

7.4.2.3 Post-traitement de données de mesure

Ce terme d'incertitude prend en compte les erreurs de post-traitement supplémentaires non couvertes précédemment en 7.4.2.2, telles que l'extrapolation à la surface du fantôme, le bruit et les écarts dus à des prédictions de la décroissance de DAS dans la direction z . La décroissance de DAS dans la direction z est généralement plus facile à prédire que la distribution de DAS dans les directions x et y . Pour cette raison, des méthodes rapides de DAS réduisent le nombre de points mesurés dans la direction z afin de réduire le temps de mesure. La décroissance de DAS dans la direction z peut être estimée à partir de mesurages limités ou prédéterminée à partir d'une analyse précédente basée sur des paramètres de mesure.

Afin d'évaluer l'incertitude de post-traitement, la fonction de référence $f_z(z)$ est utilisée, comme indiqué dans la Formule (67), où δ est la profondeur de pénétration (voir 3.21 pour la définition), A est l'amplitude du signal (définie à 1 W/kg), $N_{\text{eff}} = 0,1$ W/kg est la variance du bruit du système et $\text{rnd}(\zeta)$ est un générateur de nombre aléatoire à distribution normale avec une moyenne de 0 et un écart-type de 1. La variable ζ est une valeur initiale arbitraire. Noter que la fonction f_z doit être évaluée au moins 4 000 fois pour déterminer son écart-type en fonction du bruit.

$$f_z(z) = A \exp[-2z / \delta] + N_{\text{eff}} \text{rnd}(\zeta) \quad (67)$$

La procédure pour évaluer l'incertitude due à la résolution spatiale dans la direction z est la suivante.

- a) Déterminer la plage de valeurs de δ à partir de la plage de distributions de DAS applicables à la méthode rapide de DAS (cette valeur peut être fournie par le développeur de la méthode rapide de DAS). Pour chaque valeur de δ , suivre les Étapes b) à e).
- b) Si la méthode rapide de DAS utilise des mesurages dans la direction z , effectuer ce qui suit:
 - 1) échantillonner la fonction $f_z(z)$ aux points correspondant à la résolution de mesure et la distance minimale d_{be} (comme défini en 7.2.10.3.2) du système DAS rapide;
 - 2) extrapoler les valeurs mesurées à la surface interne du fantôme ($z = 0$);
 - 3) interpoler les points évalués conformément à la résolution d'interpolation et aux fonctions d'interpolation utilisées par la méthode rapide de DAS.
- c) Si la méthode rapide de DAS utilise une fonction de décroissance de DAS au lieu de mesurages dans la direction z , utiliser cette fonction pour représenter la décroissance de DAS sur la plage $0 \leq z \leq 21,5$ mm.
- d) Calculer la valeur moyenne des valeurs interpolées de l'Étape b) ou la fonction de décroissance prédéterminée à l'Étape c) sur $L = 10$ mm et $L = 21,5$ mm, en utilisant la méthode d'intégration utilisée par la méthode rapide de DAS.
- e) Comparer chacune des deux valeurs maximales moyennées calculées à l'Étape d) à la valeur calculée de la Formule (68) et déterminer le pourcentage d'erreur entre celles-ci.

$$f_z(z) = A_z \left(\frac{\delta}{2} \right) (1 - \exp[-2L/\delta]) \quad (68)$$

- f) Enregistrer la valeur la plus élevée de l'ensemble des erreurs déterminées à l'Étape e) comme incertitude, avec une loi rectangulaire.

L'incertitude élargie pour des essais rapides de DAS relatif, avec un intervalle de confiance de 95 %, ne doit pas dépasser 30 % pour les valeurs de DAS maximal moyenné dans la plage de 0,4 W/kg à 10 W/kg.

Tableau 14 – Bilan d'incertitude de mesure pour des essais rapides de DAS relatif

a	b	c	d	e = $f(d,k)$	f	g	h = $c \times f / e$ Incertitude- type $\pm \%$ (1 g)	i = $c \times g / e$ Incertitude- type $\pm \%$ (10 g)	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude $\pm \%$	Loi de probabilité	Div.	c_i (1 g)	c_i (10 g)			v_i ou v_{eff}
Système de mesure									
Étalonnage de la sonde	Annexe B	-	N	1	0	0	-	-	∞
Isotropie (axiale et hémisphérique)	7.2.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Effet de bord	7.2.2.5	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Linéarité	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Limites de détection	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Réponse en modulation	7.2.2.4	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Lectures électroniques	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Temps de réponse	7.2.2.7	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Temps d'intégration	7.2.2.8	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Conditions RF ambiantes – bruit	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Conditions RF ambiantes – réflexions	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Tolérance mécanique du positionneur de sonde	7.2.3.1	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme	7.2.3.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Résolution spatiale, direction x	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Résolution spatiale, direction y	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Post-traitement de données de mesure	7.4.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c _i (1 g)	c _i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v _i ou v _{eff}
Échantillon d'essai									
Positionnement de l'échantillon d'essai	7.2.5	-	N	1	1	1	-	-	∞
Incertitude du support de dispositif	7.2.5.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
Mesurage de dérive de DAS	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Mise à l'échelle de DAS	7.2.11	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Fantôme et montage									
Incertitude du fantôme (incertitude de forme et d'épaisseur)	7.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	7.2.7.2	-	N	1	0	0	-	-	∞
Conductivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Conductivité du liquide (mesurée)	7.2.6.3, 7.2.6.5	-	N	1	0	0	-	-	5
Permittivité du liquide (incertitude de température)	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0	0	-	-	∞
Permittivité du liquide (mesurée)	7.2.6.4, 7.2.6.5	-	N	1	0	0	-	-	5
Incertitude-type composée			RSS				-	-	v _{eff}
Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %)			k = 2				-	-	

Le bilan d'incertitude relative pour le contrôle du système effectué en utilisant une méthode rapide de DAS est présenté dans le Tableau 15.
Les termes d'incertitude qui peuvent être négligés ont des coefficients de pondération de $c_i = 0$.

Tableau 15 – Bilan d'incertitude de mesure pour le contrôle du système en utilisant des méthodes rapides de DAS

a	b	c	d	e = $f(d,k)$	f	g	h = $c \times f / e$	i = $c \times g / e$	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude $\pm \%$	Loi de probabilité	Div.	c_i c_i (1 g)	c_i c_i (10 g)	Incertitude- type $\pm \%$ (1 g)	Incertitude- type $\pm \%$ (10 g)	v_i ou v_{eff}
Système de mesure									
Dérive d'étalonnage de sonde ($k = 1$)	K.2.2	-	N	1	1	1	-	-	∞
Isotropie	7.2.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Effet de bord	7.2.2.5	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Linéarité	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Limites de détection du système	7.2.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Réponse en modulation	7.2.2.4	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Lectures électroniques	7.2.2.6	-	N	1	0	0	-	-	∞
Temps de réponse	7.2.2.7	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Temps d'intégration	7.2.2.8	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Conditions RF ambiantes – bruit	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Conditions RF ambiantes – réflexions	7.2.9	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Tolérance mécanique du positionneur de sonde	7.2.3.1	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme	7.2.3.2	-	R	$\sqrt{3}$	1	1	-	-	∞
Résolution spatiale, direction x	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Résolution spatiale, direction y	7.4.2.2	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞
Post-traitement de données de mesure	7.4.2.3	-	R	$\sqrt{3}$	0	0	-	-	∞

a	b	c	d	e = f(d,k)	f	g	h = c x f / e	i = c x g / e	k
Source d'incertitude	Description	Incertitude ± %	Loi de probabilité	Div.	c_i c_i (1 g)	c_i c_i (10 g)	Incertitude- type ± % (1 g)	Incertitude- type ± % (10 g)	v_i ou v_{eff}
Source de contrôle du système									
Écart entre les sources expérimentales	7.2.12	-	N	1	0	0	-	-	7
Puissance d'entrée et mesurage de dérive de DAS	7.2.8	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Autres contributions de source	7.2.13	-	N	1	1	1	-	-	∞
Paramètres de fantôme et de tissu									
Incertitude d'enveloppe du fantôme – forme, épaisseur et permittivité	7.2.4	-	R	√3	1	1	-	-	∞
Incertitude de la correction de DAS pour des écarts de permittivité et de conductivité	7.2.7.2	1,9	N	1	1	0,84	1,9	1,6	∞
Mesurage de conductivité du liquide	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	N	1	0,78	0,71	-	-	5
Mesurage de permittivité du liquide	7.2.6.3, 7.2.6.5	-	N	1	0,23	0,26	-	-	5
Conductivité du liquide – incertitude de température	7.2.6.6, 7.2.6.5	-	R	√3	0,78	0,71	-	-	∞
Permittivité du liquide – incertitude de température	7.2.6.4, 7.2.6.5	-	R	√3	0,23	0,26	-	-	∞
Incertitude-type composée			RSS				-	-	1
Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %)			k = 2				-	-	

8 Rapport de mesure

8.1 Généralités

Tous les résultats d'essai doivent être enregistrés dans un rapport de mesure et doivent inclure toutes les informations nécessaires à l'interprétation des configurations du DUT soumises à l'essai, l'étalonnage réalisé et toutes les informations exigées par la méthode et l'instrumentation utilisées.

Un rapport de mesure conforme à l'ISO/IEC 17025 et comprenant au minimum les éléments énumérés ci-dessous démontre la conformité à la présente Norme.

8.2 Éléments à enregistrer dans le rapport de mesure

Toutes les informations nécessaires permettant d'effectuer des essais reproductibles, les calculs ou les mesurages conduisant à des résultats dans les limites d'étalonnage et d'incertitude exigées doivent être enregistrées. Le rapport de mesure doit comprendre les éléments suivants.

a) Introduction générale.

- 1) Identification du laboratoire d'essai.
- 2) Identification du DUT comprenant les numéros de version du matériel et des logiciels, les numéros de série, par exemple, IMEI (international mobile equipment identity).
- 3) Exigences de conformité, par exemple, normes d'essai, lignes directrices, recommandations, etc.
- 4) Limites d'exposition applicables, par exemple, ICNIRP, IEEE/ICES, etc.
- 5) Une liste des accréditations quelconques fournies par des organismes nationaux ou internationaux pour effectuer des essais selon les normes mentionnées au point 3). Celle-ci doit comporter la date d'expiration.

b) Système de mesure (pour mesurage de DAS et mesurage rapide de DAS si utilisés).

- 1) Description des composants principaux du système de mesure, y compris positionneur, liquide, lecture électronique, support de dispositif, fantôme(s) et autres composants appropriés.

Pour la ou les sondes utilisées, inclure

- les dimensions,
- l'isotropie,
- les résolutions spatiales,
- la plage dynamique,
- la linéarité.

- 2) Les données d'étalonnage pour les composants appropriés, y compris les composants critiques du système de mesure rapide de DAS, par exemple les certificats d'étalonnage de la sonde, doivent être fournies dans le rapport de mesure.
- 3) La description des algorithmes d'interpolation et d'extrapolation utilisés dans les balayages de surface et/ou balayages-zoom doit être documentée dans le rapport d'essai.

- 4) Liquide(s) et matériaux diélectriques utilisés et leurs caractéristiques.

Pour chaque liquide équivalent aux tissus ou matériau utilisé, inclure

- les propriétés diélectriques de chaque bande de fréquences,
- l'écart par rapport à la valeur cible,
- la température du liquide,
- le résumé de la composition des liquides équivalents aux tissus.

- 5) Résultats de *contrôle du système*.
 - Les résultats de mesure pour chaque bande de fréquences.
 - L'écart par rapport à la valeur cible de DAS.
 - La description de la source rayonnante.
- c) Estimation des incertitudes (*contrôle du système* pour mesurage de DAS, *validation du système* et mesurage rapide de DAS si utilisés).
 - 1) Inclure les valeurs d'incertitude de mesure du Tableau 11, du Tableau 12, du Tableau 13, du Tableau 14 et du Tableau 15.
 - 2) Tout autre élément pertinent.
- d) Détails du dispositif et de l'essai.
 - 1) Description du facteur de forme du DUT et brève description de sa fonction prévue.
 - 2) Description des positions et orientations à soumettre à l'essai, y compris les photographies, et justifications des réductions d'essai.
 - 3) Description des antenne(s) et accessoires disponibles et soumis à l'essai, y compris les batteries.
 - 4) Description des modes de fonctionnement, niveaux de puissance et bandes de fréquences disponibles et soumis à l'essai et justifications des réductions d'essai éventuelles.
 - 5) Condition d'environnement d'essai, par exemple, la température.
 - 6) Résultats de tous les essais effectués (valeur du DAS maximal moyenné pour chaque essai et représentation graphique des balayages à grosse maille pour le dispositif, pour la valeur DAS maximale de chaque mode de fonctionnement) et détails de mise à l'échelle des résultats.
- e) Le rapport de mesure doit comporter les informations suivantes relatives à la validation de la méthode de mesure de DAS.
 - 1) Description de la ou des procédures de validation.
 - 2) Résultats des calculs, des mesurages et/ou d'autres évaluations réalisés par le développeur de méthode afin de valider la méthode de mesure de DAS.
 - 3) Analyses supplémentaires ou conditions imposées par le développeur de méthode et appliquées par l'utilisateur pour satisfaire à la méthode de mesure de DAS le cas échéant.
 - 4) Description de la source rayonnante et distribution de DAS pour chaque bande de fréquences.
 - 5) Plage de fréquences de fonctionnement, modulations, configurations de fonctionnement du dispositif, conditions d'exposition et distributions de DAS pour chaque bande de fréquences spécifique à la méthode.
 - 6) Incertitude de DAS.
 - 7) Dans le cas de mesurages rapides de DAS, détails de toute modification apportée aux algorithmes de post-traitement par rapport à ceux mis en œuvre pour des mesurages complets de DAS.
- f) Rapport d'essai sur la réduction d'essai de DAS.

Lorsque des procédures de réduction d'essai sont appliquées pendant les mesurages de DAS d'un DUT, le rapport d'essai doit inclure des informations complémentaires concernant les variantes de réduction d'essai ci-dessous.

 - 1) Réduction d'essai pour différents modes de fonctionnement à la même fréquence (voir 6.7.2). Le rapport d'essai doit fournir une description détaillée de la manière dont les conditions de 6.7.2 ont été satisfaites.
 - 2) Réduction d'essai basée sur les caractéristiques de conception du DUT (voir 6.7.3). Le rapport d'essai doit inclure des dessins ou des photographies représentant la disposition et l'emplacement des antennes dans un combiné et décrivant les modes de

fonctionnement sans fil applicables à chaque antenne pour prendre en charge la réduction et l'exclusion d'essai envisagées.

- 3) Réduction d'essai basée sur l'analyse de niveau de DAS maximal (voir 6.7.4). Le rapport d'essai doit comprendre une description systématique de la manière dont le protocole de réduction d'essai décrit en 6.7.4 a été appliqué pour les mesurages du dispositif en essai.
 - 4) Réduction d'essai basée sur des considérations d'émission multibande simultanée (voir 6.7.5). Le rapport d'essai doit inclure la puissance de sortie moyennée mesurée et la manière dont elle se conforme au niveau de puissance de seuil disponible, selon les Formules (18) et (19).
- g) Résumé du rapport (pour toutes les données de DAS rapide et de DAS complet).
- 1) Bandes de fréquences et configurations.
 - i) Liste de toutes les bandes de fréquences et modulations soumises à l'essai en utilisant une méthode rapide de DAS/complet.
 - ii) Liste de toutes les configurations d'essai évaluées en utilisant une méthode rapide de DAS/complet.
 - 2) Valeurs DAS sous forme de tableau pour les positions, les bandes, les modes de fonctionnement et les configurations de dispositif relatifs aux essais.
 - 3) Résultats sous forme de tableau et de graphique du mesurage le plus élevé du DAS rapide pour chaque bande de fréquences et modulation.
 - 4) Résultats de tous les essais complets de DAS effectués selon 6.4 et 6.5, qui comprennent la valeur du DAS maximal moyenné pour chaque essai exigé et la représentation graphique des balayages pour le dispositif.
 - 5) Les valeurs associées aux conditions des Formules (10) à (19) doivent être consignées dans le rapport d'essai.
 - 6) Une justification systématique basée sur 6.6 et 6.7 pour exclure les mesurages complets de DAS doit être fournie.
 - 7) Référence à des limites d'exposition et une déclaration de conformité, sinon, limites d'exposition et déclaration de conformité.

Annexe A (normative)

Spécifications du fantôme

A.1 Justification pour la forme du fantôme SAM

Les fantômes sont des composants essentiels de la dosimétrie électromagnétique. Alors qu'il est souhaitable que ces composants imitent les détails anatomiques de la partie du corps qu'ils représentent, il n'est pas toujours nécessaire ou pratique de le faire. Il est donc important de définir et de normaliser les caractéristiques, les dimensions et les propriétés des matériaux qui affectent les mesurages de DAS.

La répartition statistique des formes et des tailles anatomiques peut être obtenue à partir des études anthropométriques de la population humaine, qui donnent des lignes directrices pour l'élaboration des spécifications d'une forme réaliste de fantôme. Une étude anthropométrique du personnel de l'armée américaine, datée de 1988, fournit des données pour établir des exigences en matière de couverture de la population pour des adultes d'âges et de groupes ethniques différents [56]. La forme du fantôme SAM est définie par un certain nombre de lignes et de courbes comme cela est représenté à la Figure A.1.

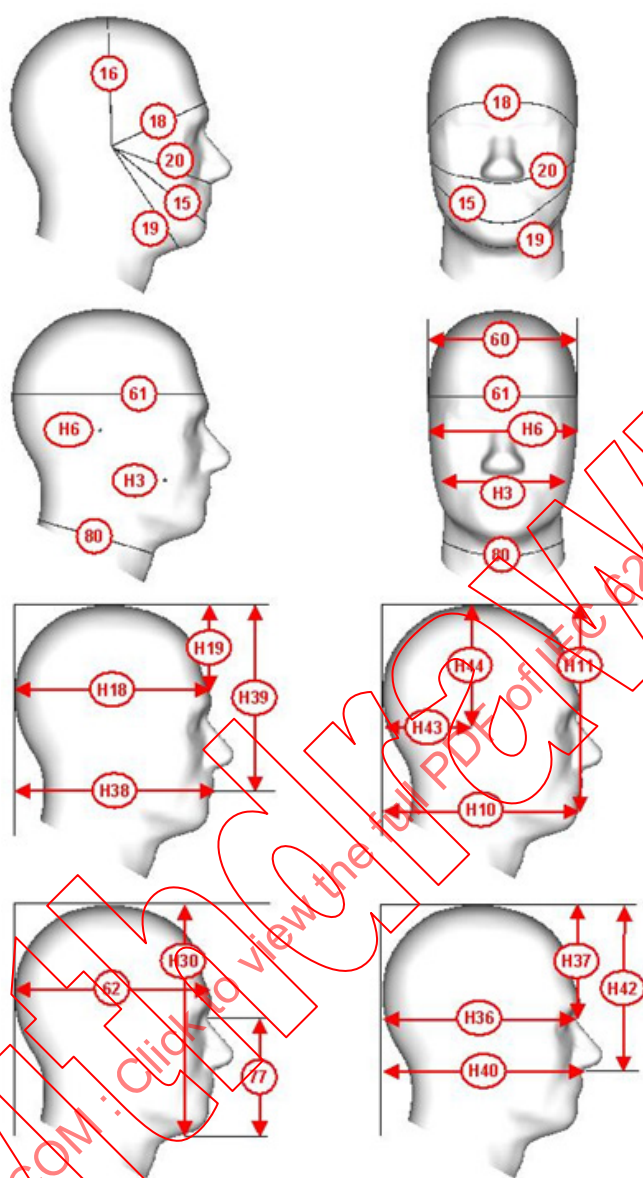
Les études dosimétriques révèlent que les têtes de plus grande taille (adulte, utilisateur masculin) captent plus d'énergie et constituent un scénario d'exposition le plus défavorable par rapport aux têtes de plus petite taille (enfants) [88], [89], [90], [139]. Une tête ayant des dimensions correspondant au 90^e percentile supérieur (mâle adulte) doit être utilisée pour assurer que plus de 90 % de tous les utilisateurs ont une tête plus petite et, par voie de conséquence, supportent une exposition plus faible.

La saillie arrière de l'oreille a un effet direct sur la détermination de la proximité du dispositif mobile et de l'antenne par rapport à la tête et elle constitue un paramètre important pour déterminer le DAS. La saillie de l'oreille doit être ajustée pour simuler la pression du dispositif sur l'oreille. La forme de l'oreille est un facteur de positionnement du dispositif mobile et doit être conçue pour permettre des positions correctes et reproductibles. Une étude sur l'épaisseur et l'élasticité du pavillon de l'oreille chez des adultes et des enfants a montré que le fantôme SAM donne une estimation prudente de l'exposition pour le tissu de la tête [16].

A.2 Spécifications du fantôme SAM

A.2.1 Généralités

Les dimensions du fantôme SAM ont été déduites à partir de données sélectionnées du 90^e percentile de la tête masculine du rapport de Gordon et al. [56]. Elles sont répertoriées dans le Tableau A.1 et représentées dans la Figure A.1. Le Tableau A.2 présente d'autres dimensions pertinentes pour la comparaison. Au point de référence de l'oreille (ERP), une épaisseur de 6 mm incluant les 2 mm de l'enveloppe est sélectionnée pour modéliser l'oreille externe (pavillon). Ce mince écarteur simule également les utilisateurs ayant des oreilles de petite taille et donne une représentation prudente du DAS. Un système de points de référence et de lignes de référence est utilisé pour corréliser le positionnement du combiné par rapport au fantôme (Figures A.2 et A.3). Le point "M" est le point de référence de la bouche, "LE" est le point de référence (ERP) de l'oreille gauche et "RE" est l'ERP de l'oreille droite. Les ERP sont situés à 15 mm à l'arrière de l'entrée du canal de l'oreille (EEC) le long de la ligne B-M (arrière-bouche) (Figure A.2).



IEC

NOTE Les dimensions dans le Tableau A.1 sont utilisées pour définir le fantôme SAM. Les dimensions dans le Tableau A.2 sont mesurées sur le fantôme SAM et comparées aux données de l'ARMÉE.

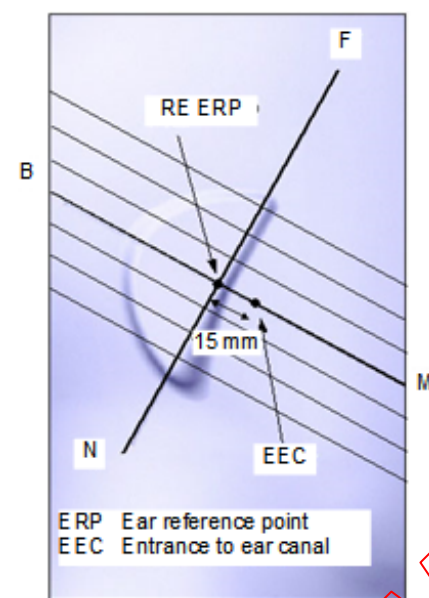
Figure A.1 – Représentation des dimensions du Tableau A.1 et du Tableau A.2

Tableau A.1 – Dimensions utilisées pour déduire le fantôme SAM à partir des données de l'ARMÉE sur le 90^e percentile de la tête masculine (Gordon et al. [56])

Réf.	Anatomie	Rapport de Gordon [mm]			SAM [mm]	Écart [%]
		Valeur moyenne	Écart-type	90 ^e percentile		
H15	Arc du menton entre tragus	325,8	13,4	343,1	329,3	–4,0
H16	Arc frontal-pariétal entre tragus	353,3	12,9	369,7	367,3	–0,6
H18	Arc frontal entre tragus	304,3	10,6	318,2	314,1	–1,3
H19	Arc sous-maxillaire entre tragus	304,2	14,5	323,2	333,5	3,2
H20	Arc sous-nasal entre tragus	292	11,1	306,3	305,3	–0,3
H60	Largeur de tête	151,7	5,4	158,6	158,4	–0,1
H61	Circonférence de tête	567,7	15,4	587,3	594,8	1,3
H62	Longueur de tête avant-arrière	197,1	7,1	206	206,0	0,0
H77	Longueur sellion-gnation	121,9	6,5	130,4	125,0	–4,1
H80	Circonférence du cou	379,6	19,7	405,3	395,4	–2,5

Tableau A.2 – Dimensions SAM supplémentaires comparées aux dimensions sélectionnées à partir des données de l'ARMÉE sur le 90^e percentile de la tête masculine (Gordon et al. [56]) – section spécifique de mesure de la tête

Réf.	Anatomie	Rapport de Gordon [mm]			SAM [mm]	Écart [%]
		Valeur moyenne	Écart type	90 ^e percentile		
H3	Largeur bigoniaque	118,9	7,9	129,2	130,0	0,6
H6	Largeur bitragion	144,8	6	152,3	152,7	0,2
H10	Menton – Arrière de la tête	194,2	10,3	207,3	206,5	–0,4
H11	Menton – Haut de la tête	216,8	8,9	228,3	220,4	–3,5
H18	Glabelle – Arrière de la tête	199,7	7,2	208,5	209,2	0,3
H19	Glabelle – Haut de la tête	96,2	7,3	105,6	104,4	–1,1
H30	Bas du maxillaire – Haut de la tête	232,0	8,8	243,3	246,7	1,4
H36	Sellion – Arrière de la tête	197	7,1	205,9	205,3	–0,3
H37	Sellion – Haut de la tête	112	6,9	120,9	121,7	0,7
H38	Stomion – Arrière de la tête	199,4	9,6	211,9	211,4	–0,2
H39	Stomion – Haut de la tête	186,3	7,8	196,3	196,3	0,0
H40	Base du nez – Arrière de la tête	203,5	8,3	213,6	213,0	–0,3
H42	Base du nez – Haut de la tête	161,9	7,7	171,8	177,6	3,4
H43	Tragion – Arrière de la tête	98,9	8,5	106,4	106,4	0,0
H44	Tragion – Haut de la tête	131	5,7	138,2	138,2	0,0



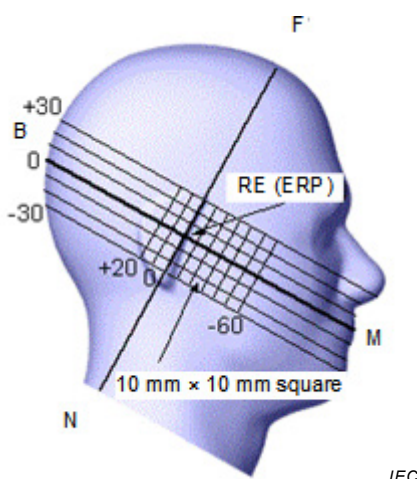
Anglais	Français
RE ERP	ERP RE
ERP Ear reference point	ERP Point de référence de l'oreille
EEC Entrance to ear canal	EEC Entrée du canal auriculaire

Légende

- B Direction du point d'extrémité arrière de la ligne B-M
 F Direction du point d'extrémité frontal de la ligne N-F
 N Direction du point d'extrémité de nuque de la ligne N-F
 M Point de référence de la bouche
 RE Point de référence de l'oreille droite (ERP)

Figure A.2 – Vue de côté rapprochée du fantôme montrant la région de l'oreille

Dimensions en millimètres



Anglais	Français
RE (ERP)	RE (ERP)
10 mm × 10 mm square	Carré 10 mm × 10 mm

Légende

- B Point d'extrémité arrière de la ligne B-M
- M Point d'extrémité frontale de la ligne B-M
- N Point d'extrémité de nuque de la ligne N-F
- F Point d'extrémité frontale de la ligne N-F
- RE Point de référence de l'oreille droite (ERP)

Figure A.3 – Vue de côté du fantôme montrant les marquages pertinents

Le plan passant par les deux ERP et M est défini en tant que plan de référence. La ligne N-F (nuque-front), également appelée ligne pivot de référence, est située le long du bord tronqué frontal de l'oreille. Les deux lignes N-F et B-M doivent être marquées sur l'enveloppe externe du fantôme afin de faciliter le positionnement du combiné. À l'arrière de la ligne N-F, l'épaisseur de l'enveloppe du fantôme en forme d'oreille est une surface plane de 6 mm d'épaisseur au niveau des ERP. À l'avant de la ligne N-F, l'oreille est tronquée comme représenté à la Figure A.2. La coupure de l'oreille est introduite pour empêcher un positionnement instable du combiné sur la joue.

La projection de la ligne de référence B-M et celle de la ligne de référence N-F doivent être marquées sur le fantôme. Des lignes supplémentaires peuvent être choisies par souci de commodité, mais elles restent facultatives. Les marquages facultatifs qui apparaissent sur la Figure A.3 peuvent être gravés sur la surface externe du fantôme, sans en affecter les spécifications.

NOTE Le modèle de la tête entière est présenté à titre d'exemple uniquement. Les procédures de la présente Norme sont déduites essentiellement de la configuration du fantôme représentée à la Figure A.4.

A.2.2 Enveloppe du fantôme

L'enveloppe du fantôme avec un écarteur d'oreille solide intégré, comme spécifié dans le modèle de CAO du fantôme SAM, doit être constituée d'un matériau à faible permittivité et à faible perte, résistant aux agents chimiques avec une permittivité relative comprise entre 2 et 5; cependant, une valeur inférieure à 2 est acceptable pour des fréquences allant jusqu'à 3 GHz. La tangente de perte de l'enveloppe du fantôme doit être inférieure ou égale à 0,05. Il a été démontré qu'à des fréquences plus élevées, en particulier au-dessus de 3 GHz, la permittivité de l'enveloppe du fantôme a un impact croissant sur l'incertitude de mesure de

DAS [123]. Selon [123], le DAS est affecté par l'enveloppe, même si celle-ci est mince et a des propriétés diélectriques beaucoup plus faibles que le liquide équivalent aux tissus. Spécifiquement, les auteurs ont montré que la variation du DAS dépend non seulement de la fréquence, mais également de la permittivité relative de l'enveloppe et de la distance entre l'antenne et le matériau. Il a été recommandé que les effets de l'enveloppe soient pris en compte dans la plage de fréquences supérieure. Par conséquent, l'évaluation d'incertitude doit être réalisée au-dessus de 3 GHz selon 7.2.4. La forme de l'enveloppe du fantôme doit avoir une tolérance de moins de $\pm 0,2$ mm par rapport au fichier CAO de fantôme SAM. Dans toute surface à l'aplomb du combiné, l'épaisseur de l'enveloppe doit être de $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, sauf pour les oreilles et les parois du périmètre étendu (voir Figure A.4). L'enveloppe du fantôme doit être constituée de matériaux résistants aux composés utilisés pour préparer les liquides équivalents aux tissus (par exemple, ceux répertoriés à l'Annexe I), afin d'éviter les dommages et conserver les tolérances de $\pm 0,2$ mm. Pour les zones non critiques, c'est-à-dire la bande centrale contenant le nez, comme représenté à la Figure A.5, il est admis que la tolérance d'épaisseur soit de ± 1 mm.

La section du fichier CAO pour le plan de référence est présentée à la Figure A.6.

NOTE Le modèle CAO est utilisé dans la fabrication de base du montage d'essai normalisé du fantôme SAM par des groupes ayant les compétences et les ressources nécessaires. Quatre fichiers .igs de surfaces intérieures et extérieures pour les moitiés gauche et droite extraites du modèle CAO du fantôme SAM sont fournis avec la présente norme à XXX. Les quatre noms de fichiers sont:

- 1) sam_lft_in_6_11.igs
- 2) sam_lft_out_6_11.igs
- 3) sam_rt_in_6_11.igs
- 4) sam_rt_out_6_11.igs

Dimensions en millimètres

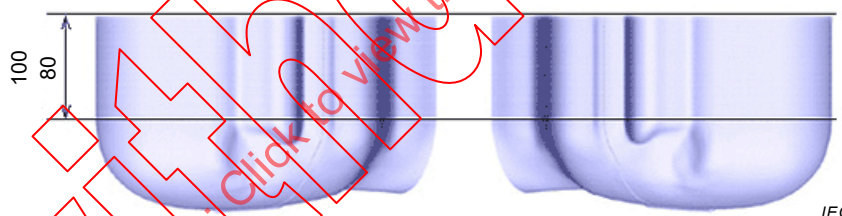
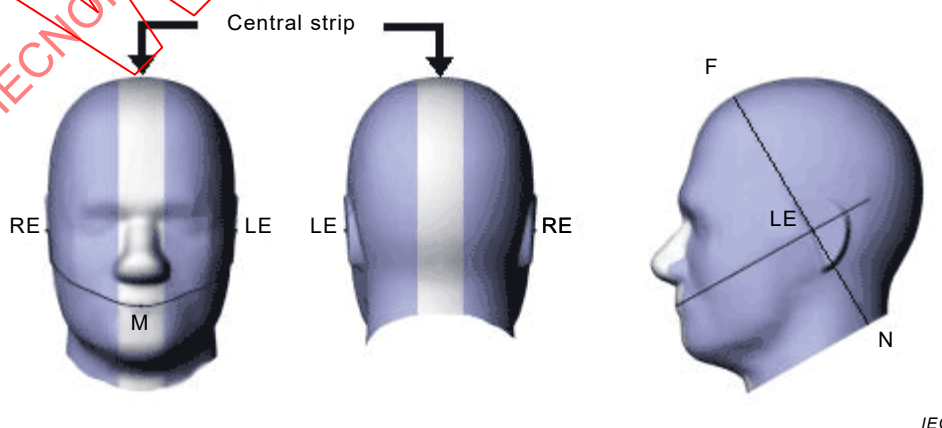


Figure A.4 – Bissection sagittale du fantôme avec périmètre étendu (montrée sur le côté comme lors des essais de DAS du dispositif)



Anglais	Français
Central strip	Bande centrale

Figure A.5 – Représentation du fantôme représentant la bande centrale

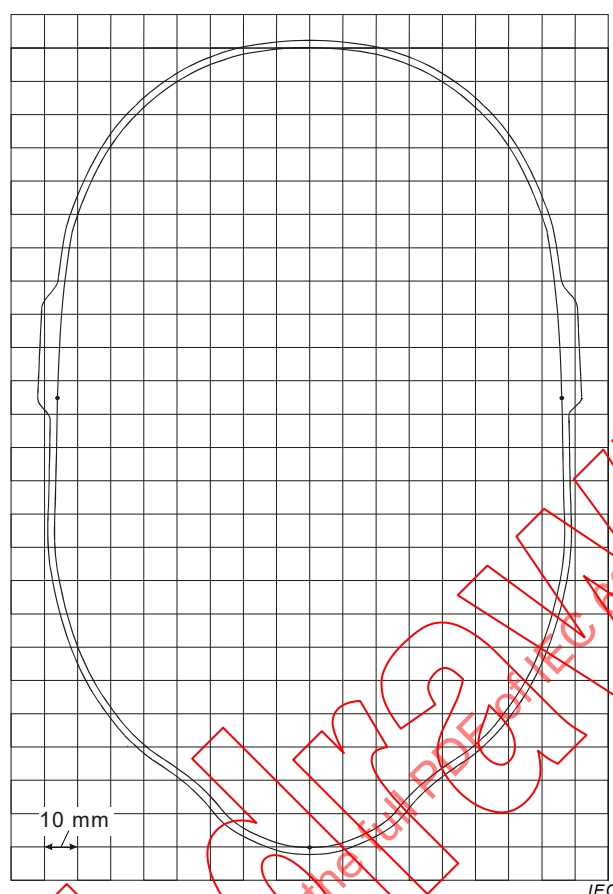


Figure A.6 – Section du SAM au niveau du plan de référence

A.3 Spécifications du fantôme plan

L'enveloppe du fantôme plan doit être construite sous la forme d'un conteneur à dessus ouvert avec une base plane. Dans la présente Norme, les fantômes plans doivent être utilisés pour la *validation du système* et le *contrôle du système*.

Tous les fantômes plans utilisés doivent être suffisamment grands pour permettre le mesurage exact du DAS en utilisant les sources de *validation du système* et de *contrôle du système* pour un DAS maximal moyenné sur 1 g et 10 g avec une influence provenant de la forme et des dimensions du fantôme de moins de 1 %. Les dimensions minimales du fantôme plan sont données à l'Annexe H.

Le fantôme plan doit avoir la forme et les dimensions suivantes:

- a) Sauf spécification à l'Étape b), la forme du fantôme doit être une ellipse d'une longueur de 600 mm $\pm$ 5 mm et d'une largeur de 400 mm $\pm$ 5 mm (voir la Figure A.7).
- b) Pour les fréquences supérieures à 300 MHz, les fantômes possédant d'autres formes et des dimensions plus petites sont admis comme suit:
 - entre 300 MHz et 800 MHz, la paroi de la base plane du fantôme peut avoir n'importe quelle forme qui englobe une ellipse d'une longueur de $0,6 \lambda_0$ et d'une largeur de $0,4 \lambda_0$, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'air;
 - entre 800 MHz et 6 GHz, la paroi de la base plane du fantôme peut avoir n'importe quelle forme qui englobe une ellipse d'une longueur de 225 mm et d'une largeur de 150 mm.

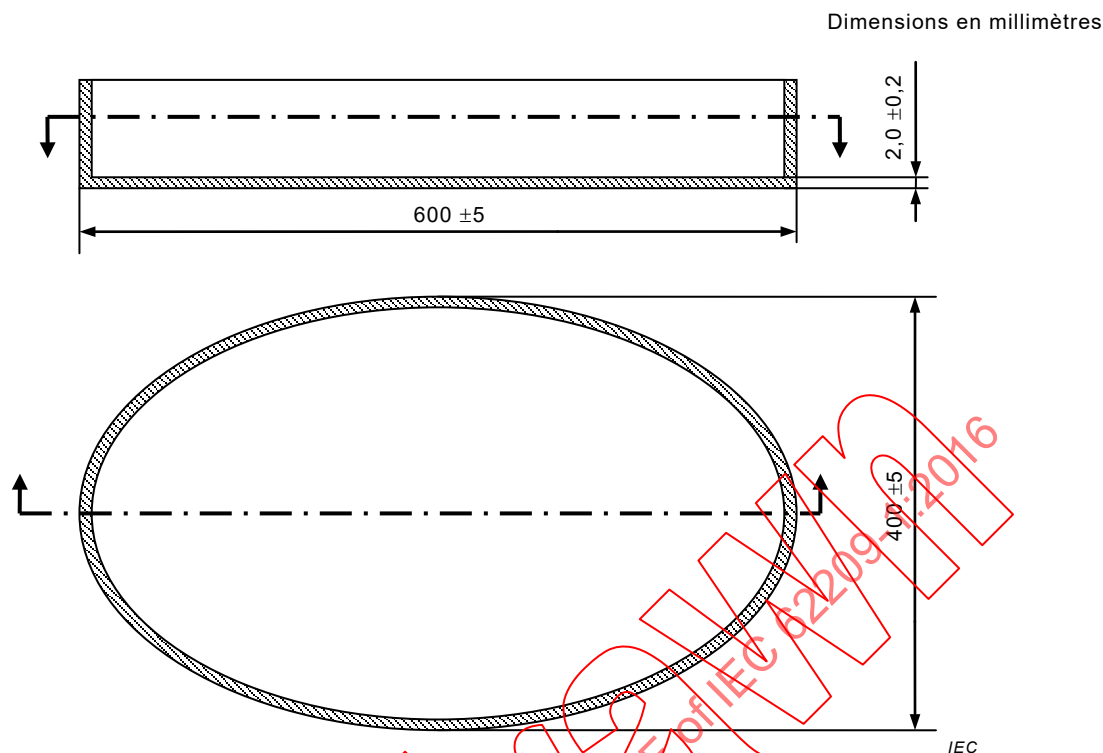


Figure A.7 – Dimensions du fantôme elliptique

Le fantôme doit être rempli avec du liquide simulant les tissus de la tête. Afin de réduire au minimum les réflexions à l'intérieur du fantôme, il convient que la profondeur du liquide homogène soit d'au moins 15 cm. Une profondeur de liquide de moins de 15 cm peut être utilisée s'il est démontré (par exemple, en utilisant des simulations numériques) que l'effet des réflexions sur le DAS maximal moyenné est inférieur à 1 %. Si l'effet des réflexions sur le DAS maximal moyenné est supérieur à 1 %, mais inférieur à 3 %, l'incertitude maximale doit être ajoutée au bilan d'incertitude. L'enveloppe du fantôme doit être constituée d'un matériau à faible perte et à faible permittivité, ayant une tangente de perte $\leq 0,05$ et une permittivité relative de

$$1 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ pour } f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$2 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ pour } f > 3 \text{ GHz, [123]}$$

L'épaisseur de la paroi de la base du fantôme plan doit être de 2,0 mm avec une tolérance de $\pm 0,2$ mm.

Les effets sur le DAS dus aux écarts des paramètres et de l'épaisseur de l'enveloppe du fantôme doivent être inclus dans l'estimation de l'incertitude.

Le matériau de l'enveloppe du fantôme doit pouvoir résister aux dégradations ou réactions chimiques avec le liquide équivalent aux tissus utilisés dans l'enveloppe.

A.4 Liquides équivalents aux tissus

Pour déduire les paramètres appropriés pour des liquides homogènes, un modèle analytique simple constitué de couches de tissu s'étendant à l'infini et exposé à une onde plane, a été utilisé pour étudier l'impact de l'adaptation d'impédance, des ondes stationnaires, etc., sur le DAS maximal moyenné par les auteurs de [33] pour des fréquences jusqu'à 3 GHz et par les auteurs de [15], [16] pour des fréquences jusqu'à 6 GHz. Les couches de tissu ont été diversifiées en composition et en épaisseur de manière à représenter la variation anatomique de la région de la tête exposée et couvrant un groupe d'utilisateur comprenant des adultes et

des enfants (variations comprises entre le 10^e et le 90^e percentile). Une composition en couches de tissu représentant le cas le plus défavorable en ce qui concerne l'absorption à chaque fréquence a permis de déduire les paramètres diélectriques homogènes du liquide équivalent aux tissus de la tête pour garantir que le DAS maximal moyenné est le même (ou légèrement plus élevé) que le DAS maximal moyenné dans les modèles constitués de couches. Le modèle de Cole-Cole des propriétés diélectriques du tissu a été utilisé et peut être consulté dans [50]. La validité de cette approche pour une exposition en champ proche a été démontrée en remplaçant l'onde plane par des sources à dipôle demi-onde et monopôle quart d'onde à proximité immédiate des structures en couches, ainsi que par comparaison avec des résultats basés sur des modèles non homogènes de têtes d'adultes et d'enfants obtenus par imagerie par résonance magnétique (IRM) issus des ouvrages de référence.

Le Tableau A.3 présente la permittivité relative et la conductivité des liquides équivalents aux tissus de la tête qui en résulte comme publiées dans [33]. Pour les propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus de la tête à d'autres fréquences de la plage de fréquences, une méthode d'interpolation linéaire doit être utilisée. Des exemples de formules pour des liquides ayant les paramètres définis dans le Tableau A.3 sont donnés à l'Annexe J. Les propriétés diélectriques mesurées, et non les valeurs du Tableau A.3, doivent être utilisées pour les calculs du DAS. Ce mesurage peut être effectué en utilisant l'équipement et les procédures décrits à l'Annexe J.

Tableau A.3 – Propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus de la tête

Fréquence MHz	Permittivité relative ϵ_r	Conductivité (σ) S/m
300	45,3	0,87
450	43,5	0,87
750	41,9	0,89
835	41,5	0,90
900	41,5	0,97
1 450	40,5	1,20
1 500	40,4	1,23
1 640	40,2	1,31
1 750	40,1	1,37
1 800	40,0	1,40
1 900	40,0	1,40
2 000	40,0	1,40
2 100	39,8	1,49
2 300	39,5	1,67
2 450	39,2	1,80
2 600	39,0	1,96
3 000	38,5	2,40
3 500	37,9	2,91
4 000	37,4	3,43
4 500	36,8	3,94
5 000	36,2	4,45
5 200	36,0	4,66
5 400	35,8	4,86
5 600	35,5	5,07
5 800	35,3	5,27
6 000	35,1	5,48

NOTE Par souci de commodité, les valeurs de permittivité et de conductivité à des fréquences qui ne font pas partie des données originales fournies par Drossos et al. [33] ou allant jusqu'à 5 800 MHz sont fournies (c'est-à-dire, les valeurs indiquées *en italique*). Ces valeurs ont été linéairement interpolées entre les valeurs contenues dans le présent tableau qui sont immédiatement au-dessus et au-dessous de ces valeurs, à l'exception des valeurs à 6 000 MHz qui ont été linéairement extrapolées à partir des valeurs à 3 000 MHz et 5 800 MHz.

Annexe B (normative)

Étalonnage et caractérisation de sondes dosimétriques

B.1 Remarques introductives

Les sondes de DAS actuellement disponibles sont basées sur des détecteurs à diode Schottky. Le signal mesuré à la sortie de la sonde est une tension proportionnelle à E ou E^2 , suivant l'amplitude de champ électrique, qui détermine le point de fonctionnement sur la courbe caractéristique de la diode.

La plupart des sondes isotropes sont constituées de trois petits capteurs dipôles avec des détecteurs à diode dans leurs fentes centrales. Les diagrammes de directivité de tels capteurs sont orthogonaux, et l'amplitude totale de champ E est proportionnelle à la somme quadratique (RSS) des trois composantes de champ orthogonales. Dans la région quadratique de la caractéristique de diode, la tension de sortie du capteur est proportionnelle à la moyenne quadratique de la composante de champ correspondante. Au-delà de cette région, la tension de sortie est comprimée et exige donc une linéarisation dans la plage dynamique. Les différences dues aux tolérances de fabrication produisent des sensibilités quelque peu différentes pour chaque capteur, qui doivent être prises en compte pendant l'étalonnage et compensées pendant le mesurage.

L'étalonnage de sonde pour les essais de DAS dans un liquide produit un DAS ou un facteur de conversion du champ E . Étant donné que le DAS est proportionnel à la conductivité du liquide, un étalonnage direct en termes de DAS serait valable seulement pour des liquides ayant exactement la même conductivité. La sensibilité du champ E dépend plus de la permittivité complexe du liquide et est moins sensible à la seule conductivité. Il convient que l'étalonnage en termes de champ E plutôt qu'en termes de DAS ait une plus grande plage de validité, et est donc plus pratique pour les essais de DAS individuels de série dans lesquels les propriétés du liquide équivalent aux tissus varient légèrement au fil du temps.

L'étalonnage de sonde est généralement réalisé à l'aide des méthodes en une étape ou en deux étapes. Dans la méthode en deux étapes, le champ total est donné par la Formule (B.1):

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\eta_i \psi_i} \quad (\text{B.1})$$

Ici, E_i ($i = 1, 2, 3$) sont les composantes résultant de la projection du vecteur de champ E sur les trois capteurs orthogonaux, $f_i(V_i)$ est la fonction de linéarisation du signal redressé par le capteur V_i , η_i en $[\mu\text{V}/(\text{V}/\text{m})^2]$ est la sensibilité du capteur-dipôle i dans l'air, et ψ_i est le rapport de la réponse du capteur dans l'air à la réponse dans les milieux diélectriques (parfois désigné sous le nom de facteur de conversion).

La fonction de linéarisation $f_i(V_i)$ est non seulement une fonction de la valeur efficace de V_i mais également dépendante du signal. Nadakuduti et al. [116] a montré que les signaux CW et les signaux modulés par impulsions périodiques avec une amplitude constante (par exemple GSM) peuvent être plus facilement corrigés pour la linéarité que pour les protocoles de communication utilisant des modulations complexes avec des enveloppes de signal stochastique. Une linéarisation acceptable des modulations complexes peut être obtenue sur une large plage dynamique avec une incertitude de linéarité inférieure à 0,4 dB (voir Nadakuduti et al. [116]).

Cette méthode en deux étapes est également appelée méthode en trois étapes (Meier et al. [104]), où la troisième étape implique la fonction de linéarisation $f_i(V_i)$. Dans les méthodes en une étape décrites en B.3.3, le champ total est donné par la Formule (B.2):

$$|E|^2 = \sum_{i=1}^3 |E_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\gamma_i} \quad (\text{B.2})$$

Ici, les facteurs η_i sont inclus dans la sensibilité γ_i totale dans un tissu. Une autre procédure en une étape basée sur une méthode d'antenne normalisée est décrite dans Person et al. [128].

Les étalonnages de sonde ne sont valides que lorsque les capteurs sont suffisamment éloignés (au moins un diamètre d'extrémité de sonde) des limites du milieu. Lorsque la sonde est proche de ces limites et que la compensation n'est pas appliquée, la sensibilité peut changer (effet de bord). L'effet de bord, ainsi que la réponse isotrope de la sonde, doivent être évalués au moyen d'essais séparés, comme décrit en 7.2.2.2, 7.2.2.5, B.4 et B.6.

B.2 Linéarité

La linéarité de sonde est présentée et expliquée en 7.2.2.3; l'incertitude associée peut être déterminée selon les méthodes indiquées en 7.2.2.3 pour les signaux CW et en 7.2.2.4 pour les signaux modulés. L'Article B.2 décrit une méthodologie générale pour l'évaluation de la linéarité de sonde de tout signal.

La réponse de capteur non linéaire du détecteur à diode $f_i(I)$ qui est une fonction d'intensité de champ et les caractéristiques de signal doivent être linéarisées avant l'évaluation de la sensibilité (voir l'Article B.1). Cette opération est améliorée en utilisant une amplitude ou un balayage de puissance avec un champ incident bien défini ayant les caractéristiques de signal correspondantes. L'une quelconque des configurations suivantes peut être utilisée à condition que la plage dynamique concernée soit évaluée par pas de 3 dB ou moins. Il convient d'utiliser un wattmètre efficace vrai ou une sonde de champ étalonnée de façon appropriée comme référence. Les paramètres de linéarisation sont déterminés pour le i -ème capteur, en évaluant et en supprimant l'erreur de linéarisation entre la réponse mesurée $E_{\text{inc mes}}$ et le champ incident E_{inc} comme présenté dans la Formule (B.3):

$$\text{erreur}_{\text{linéarisation}} = 20 \log_{10} \frac{E_{\text{inc mes}}}{E_{\text{inc}}} \quad (\text{B.3})$$

Une approche est décrite par Nadakaduti et al. [116] pour appliquer l'ajustement de courbe afin de supprimer l'erreur de linéarisation des signaux ayant des enveloppes de signal complexes.

B.3 Évaluation de la sensibilité des capteurs-dipôles

B.3.1 Généralités

Les facteurs de sensibilité peuvent être déterminés en appliquant des procédures d'étalonnage «en une étape» ou «en deux étapes». En variante, l'étalonnage de transfert peut être appliqué.

B.3.2 Procédures d'étalonnage en deux étapes

B.3.2.1 Généralités

Le champ total doit être évalué selon la Formule (B.1).

La séparation de la sensibilité de la sonde en deux facteurs (η_i et γ_i) permet l'utilisation de certaines procédures normalisées d'étalonnage de sonde en espace libre et permet une validation supplémentaire des performances de la sonde et du montage d'étalonnage.

B.3.2.2 Sensibilité dans l'air (première étape)

Les montages les plus exacts utilisés pour la génération de champs bien définis afin de simuler des conditions d'espace libre, destinés à l'étalonnage des sondes, sont les guides d'ondes. Les raisons en sont les suivantes:

- les montages à guide d'ondes exigent une puissance modérée et moins d'espace que les montages d'étalonnage de champs lointains;
- la génération de champs plus exacts permettant de remonter aux relevés de puissance est possible;
- l'incertitude produite par la perturbation du champ due à l'insertion de la sonde est négligeable pour de petites sondes de champ proche, lorsque les dimensions du guide d'ondes sont beaucoup plus grandes que celles de la sonde;
- les montages permettent un accès facile pour orienter l'axe de la sonde perpendiculairement ou parallèlement à la polarisation du champ à l'intérieur du montage;
- en outre, la validation croisée des intensités de champ est en général possible en utilisant un jeu de guides d'ondes avec des plages de fréquences se recouvrant.

Aux fréquences les plus basses (par exemple, en dessous de 750 MHz), des cellules TEM peuvent être utilisées à la place des guides d'ondes. Cependant, le champ à l'intérieur de la cellule TEM est moins bien défini, c'est-à-dire qu'il y a un écart assez important de la distribution homogène du champ par rapport à celle prévue [116].

La sonde est généralement insérée dans les petits trous dans les parois de la cellule TEM et positionnée au centre (au-dessus ou au-dessous du septum), là où le champ est la plupart du temps homogène par rapport aux dimensions de la sonde. Chaque capteur est évalué par rapport à la composante de champ parallèle à ce dernier.

Tant que la ligne résistive ne charge pas la diode/dipôle du capteur et que la sonde est petite comparée à la longueur d'onde, la sensibilité dans l'espace libre est indépendante de la fréquence. Cela permet une validation supplémentaire des montages d'étalonnage et le contrôle d'éventuelles perturbations du champ par la sonde. Les effets dus à l'insertion de la sonde sont généralement négligeables si des coupleurs de guide d'ondes de bonne qualité et des sources adaptées sont utilisés. Une source supplémentaire d'incertitude dans les montages de guide d'ondes provient des réflexions sur la charge de terminaison, qui peut avoir comme conséquence une configuration d'ondes stationnaires dans le montage. Les réflexions peuvent être maintenues au-dessous de 1 % si des charges de guide d'ondes de bonne qualité sont utilisées. De plus, l'incertitude peut être compensée en effectuant des mesurages supplémentaires avec une charge décalée de $\lambda/4$ et en faisant la moyenne des deux relevés.

B.3.2.3 Sensibilité dans le milieu (deuxième étape)

B.3.2.3.1 Généralités

La sensibilité dans le liquide est déterminée en générant des valeurs localement connues de champ à l'intérieur des milieux. Deux méthodes peuvent être utilisées:

- a) étalonnage de transfert avec la sonde de température;
- b) étalonnage avec des champs analytiques.

B.3.2.3.2 Étalonnage de transfert avec les sondes de température

Dans des liquides avec pertes, le DAS est lié à la fois au champ électrique (E) et à la vitesse d'échauffement (dT/dt) dans le liquide ayant une capacité thermique massique c_h . Par conséquent, en se basant sur la relation

$$DAS = \sigma \frac{E^2}{\rho} = c_h \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} \quad (\text{B.4})$$

le champ électrique dans le liquide avec pertes peut être mesuré indirectement en mesurant la vitesse d'échauffement dans le liquide. Des sondes ne perturbant pas la température (sondes optiques ou sondes à thermistance à fils résistifs) avec des capteurs de petite taille (< 2 mm) et un temps de réponse court (< 1 s) sont disponibles et peuvent être facilement étalonnées avec une grande précision [84]. Le montage et la source d'excitation n'ont aucune influence sur l'étalonnage. Seules les incertitudes de positionnement relatif de la sonde de température et de la sonde de champ E à étalonner doivent être prises en compte. Cependant, plusieurs problèmes limitent l'exactitude effective des étalonnages des sondes de température.

- La vitesse d'échauffement n'est pas directement mesurable, mais doit être évaluée à partir de mesurages de température effectués sur une courte période de temps. Des précautions particulières sont nécessaires pour éviter des incertitudes de mesure provoquées par des gradients de température dus aux effets de répartition d'énergie ou de courants de convection dans le liquide. De tels effets ne peuvent pas être complètement évités. Avec un montage soigneusement réalisé, ces incertitudes peuvent être réduites au minimum.
- Le volume mesuré autour de la sonde de température n'est pas bien défini. Il est difficile de calculer le transfert d'énergie dans la sonde à partir du champ de gradient de température environnant dans la sonde (les sondes de température sont généralement étalonnées dans le liquide avec des températures homogènes). Il n'existe pas de norme identifiable pour les mesurages des augmentations de température.
- L'étalonnage dépend de l'évaluation de la masse volumique, de la capacité thermique massique et de la conductivité électrique du milieu. Alors que la masse volumique et la capacité thermique massique peuvent être mesurées avec exactitude avec des procédures normalisées ($\sim \pm 2\%$ pour c_h , beaucoup mieux pour ρ), il n'existe aucune norme pour le mesurage de la conductivité électrique. Suivant la méthode et le liquide, l'incertitude peut être de $\pm 5\%$.
- Un échauffement suffisant est exigé pour produire des échauffements mesurables; par conséquent, l'étalonnage est souvent effectué à un niveau de puissance plus élevé que celui utilisé par les méthodes de champ E. Les non-linéarités dans le système (par exemple, mesurages de puissance, différentes composantes de champ, etc.) doivent être compensées.

Compte tenu de ces problèmes, l'exactitude d'étalonnage des sondes de champ E utilisant une technique d'échauffement dans un montage soigneusement conçu est d'environ $\pm 10\%$ (incertitude-type composée) [104]. Un montage utilisant une combinaison des techniques de guide d'ondes et d'échauffement a été présenté dans [72]. L'incertitude-type composée estimée de ce montage est de $\pm 5\%$ quand le même liquide est utilisé à la fois pour l'étalonnage et pour les mesurages réels, et sinon de $\pm 7\%$ à $\pm 9\%$, ce qui est en bon accord avec les estimations indiquées dans [104]. Lors de l'exécution d'une analyse d'incertitude de l'étalonnage de transfert au moyen d'une technique d'échauffement, les paramètres indiqués dans le Tableau B.1 doivent au moins être pris en compte.

**Tableau B.1 – Analyse de l'incertitude de l'étalonnage
du transfert avec des sondes de température**

Source d'incertitude	Valeur d'incertitude $\pm \%$	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertain-typ $u_i \pm \%$	ν_i ou ν_{eff}
Positionnement de la sonde de champ E		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Positionnement de la sonde de température		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Linéarité de la sonde de champ E		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Dérive et bruit de la sonde de température		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Linéarité de la sonde de température		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Chaleur massique du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Masse volumique du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Exactitude de la sonde de température		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Incertain-typ composée		RSS				
NOTE c_i est le coefficient de sensibilité.						

Les tolérances des composantes du Tableau B.1 doivent être déterminées comme suit.

- Les tolérances de positionnement des sondes de température et de champ E sont évaluées selon 7.2.3.1 en utilisant la profondeur de pénétration réelle déterminée à partir des paramètres diélectriques du tissu mesurés à la fréquence d'étalonnage. Étant donné que de petits écarts de DAS à la valeur de crête sont attendus pour les directions parallèles à la surface du fantôme, les procédures de 7.2.3.1 sont applicables lorsque les mouvements de la sonde de température et de champ E peuvent être limités à des directions transversales uniquement, sans aucun mouvement exigé dans la direction perpendiculaire à la surface ou la direction z .
- L'incertitude de linéarité de la sonde de champ est évaluée selon 7.2.2.3 et l'incertitude d'étalonnage ne doit pas dépasser 0,1 dB à l'intensité de champ d'étalonnage.
- Les dérives et le bruit de la sonde de température sont évalués par des mesurages de température à des intervalles de 1 s pendant 1 h, avec un temps d'intégration de moins de 0,5 s dans des conditions de température constantes. La tolérance de température est calculée selon la formule $100 \times [(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})/\Delta T_{\text{min}}]$, où ΔT_{min} est l'échauffement minimal pour les différents niveaux de puissance utilisés pour l'étalonnage.
- Il convient de déterminer la tolérance de linéarité de la sonde de température à l'aide des procédures suivantes. L'exactitude et la linéarité des résultats de la sonde de température sont comparées à une température de référence identifiable à 10 paliers de température dans une plage supérieure ou égale à celle utilisée pendant l'étalonnage. La tolérance est calculée selon la formule $100 \times [(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})/\Delta T_{\text{min}}]$, où ΔT_{min} est la valeur la plus élevée de l'échauffement minimal pour les différents niveaux de puissance utilisés pour l'étalonnage et de la tolérance pour la température de référence.
- La tolérance de mesure de la conductivité du liquide pendant l'étalonnage de la température est déterminée en utilisant les mêmes procédures que celles indiquées en 7.2.6.3.
- La tolérance de chaleur massique des liquides équivalents aux tissus doit être déterminée en utilisant des procédures calorimétriques ([72], [100]).

- g) La tolérance de mesure de la masse volumique du liquide doit être calculée en fonction de la somme quadratique (RSS) des tolérances de volume et de poids obtenues au moyen de méthodes de mesure normalisées pour le volume et le poids.
- h) La sonde de température doit avoir un temps de réponse à un échelon de 1 s ou moins, qui est déterminé à partir du temps exigé par l'équipement de mesure, la sonde de température et la lecture électronique pour atteindre 90 % de la valeur de température finale prévue après l'application d'une variation d'échelon de 5 °C ou plus sur la sonde de température.

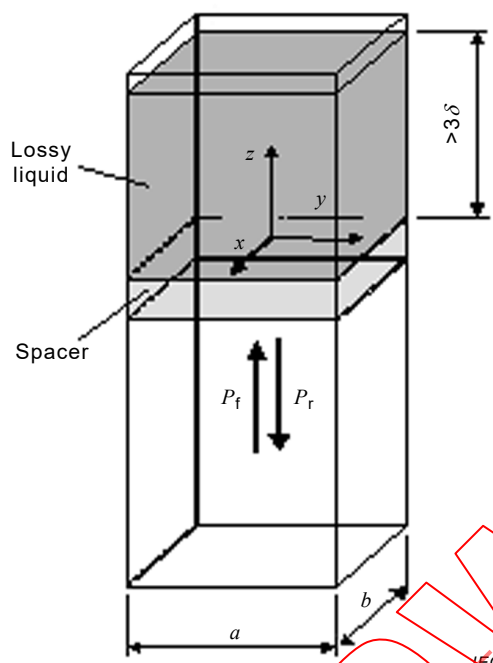
B.3.2.3.3 Étalonnage avec des champs analytiques (guides d'ondes)

Dans cette méthode, un montage d'essai dans lequel le champ peut être calculé analytiquement à partir des mesurages d'autres grandeurs physiques (par exemple, puissance d'entrée) est utilisé. Cela correspond à la méthode du champ normalisé pour l'étalonnage de la sonde dans l'air. Cependant, aucune norme n'est définie pour des champs dans des liquides imparfaits (avec pertes).

Lorsque les champs calculés dans des liquides avec pertes sont utilisés pour l'étalonnage de la sonde, plusieurs points doivent être pris en compte dans l'estimation de l'incertitude.

- La puissance nette RF dissipée dans le guide d'ondes doit être mesurée avec exactitude. Cette exigence implique des mesurages précis de deux des trois grandeurs suivantes: la puissance incidente, la puissance réfléchie et le coefficient de réflexion au niveau du port d'entrée du guide d'ondes.
- L'exactitude de l'intensité de champ calculée dépend de l'estimation des paramètres diélectriques du liquide.
- Du fait de la faible longueur d'onde dans les liquides de forte permittivité, des modes d'un ordre plus élevé peuvent être excités. La distribution des champs dans le montage doit être soigneusement vérifiée afin d'assurer la conformité à la distribution de champ théorique.

Les guides d'ondes peuvent être utilisés pour générer un champ analytiquement connu à l'intérieur des liquides équivalents aux tissus, par exemple, le montage présenté dans [132]. Dans ce montage (voir la Figure B.1), la partie supérieure d'un guide d'ondes ouvert et vertical est remplie de liquide. Une plaque de séparation diélectrique à une distance $> \lambda$ (λ fait référence à la longueur d'onde dans la section d'air du guide d'ondes) du coupleur d'alimentation permet une adaptation d'impédance (affaiblissement de réflexion > 10 dB) entre l'air et le liquide. La symétrie de la construction et des pertes élevées dans le liquide garantit que la distribution de champ à l'intérieur du liquide équivalent aux tissus suit le mode de guide d'ondes TE_{10} , bien que des modes d'ordre plus élevé puissent théoriquement exister. Dans [131], l'absence de modes d'ordre plus élevé a été soigneusement validée par un mesurage de la distribution du champ électrique dans le volume du liquide, et celle-ci s'est révélée être à moins de ± 2 % du mode théorique TE_{10} .



Anglais	Français
Lossy liquid	Liquide avec perte
Spacer	Écarteur

Légende

x,y,z	Axes dans le système cartésien de coordonnées
3δ	Profondeur de liquide (> 3 fois la profondeur de pénétration)
a	Largeur de la section du guide d'ondes
b	Hauteur de la section du guide d'ondes
P_i	Puissance incidente
P_r	Puissance réfléchie

Figure B.1 – Montage expérimental pour l'évaluation de la sensibilité (facteur de conversion) utilisant un guide d'ondes rectangulaire vertical

À l'intérieur du liquide, le champ se propage presque comme une onde TEM, en raison de la fréquence de coupure basse. La profondeur de liquide (> 3 fois la profondeur de pénétration) a été choisie de sorte que les réflexions à la surface supérieure du liquide soient négligeables. La Formule (B.5) représente la relation entre le DAS au centre de la section ($x = y = 0$) du guide d'ondes avec pertes et la distance longitudinale (z) du séparateur diélectrique:

$$DAS(z)=\frac{4(P_i-P_r)}{\rho ab\delta}e^{-2z/\delta} \tag{B.5}$$

où

- ab est la section transversale du guide d'ondes;
- P_i est la puissance directe à l'intérieur de la section sans perte du guide d'ondes;
- P_r est la puissance réfléchie à l'intérieur de la section sans perte du guide d'ondes;
- z est la distance de la plaque de séparation diélectrique;
- ρ est la masse volumique du liquide;
- δ est la profondeur de pénétration à l'intérieur du liquide avec pertes.

NOTE Pour les besoins de la présente norme, la masse volumique ρ est égale à 1 000 kg/m³.

La profondeur de pénétration δ , qui est l'inverse du coefficient d'atténuation du guide d'ondes α , est déterminée à partir d'un balayage le long de l'axe z et comparée à la valeur théorique déterminée à partir de la Formule (B.6) en utilisant les propriétés diélectriques mesurées du liquide avec pertes.

$$\delta = \alpha^{-1} = \Re \left\{ \sqrt{(\pi/a)^2 + j\omega\mu_0(\sigma + j\omega\varepsilon_0\varepsilon'_r)} \right\}^{-1} \quad (\text{B.6})$$

Le Tableau B.2 donne des lignes directrices de conception pour des guides d'onde d'étalonnage ayant un affaiblissement de réflexion au moins égal à 10 dB aux fréquences les plus importantes utilisées pour les communications personnelles sans fil. Les valeurs de profondeur de pénétration pour ces dispositifs et paramètres diélectriques équivalents aux tissus spécifiques sont également répertoriées dans le Tableau B.2.

Cette technique donne une excellente exactitude avec une incertitude-type composée $< \pm 3,6 \%$ suivant la fréquence et le milieu. L'étalonnage proprement dit est réduit aux mesurages de puissance traçables par rapport à une procédure d'étalonnage normalisée. La limitation pratique causée par la taille du guide d'ondes pour la plage de fréquences entre 750 MHz et 6 000 MHz n'est pas gênante dans le contexte des essais de conformité, puisque la plupart des fréquences de fonctionnement pour les systèmes de communications mobiles sont couvertes dans cette plage. Pour les fréquences au-dessous de 750 MHz, l'étalonnage de transfert avec des sondes de température demeure la méthode la plus pratique pour réaliser l'étalonnage avec les plus faibles incertitudes. Lors d'une analyse d'incertitude de l'étalonnage avec des champs analytiques, au moins les paramètres inclus dans le Tableau B.2 doivent être pris en compte.

Lors d'une analyse d'incertitude de l'étalonnage de sonde dans un guide d'ondes, au moins les paramètres inclus dans le Tableau B.3 doivent être pris en compte.

Tableau B.2 – Lignes directrices de conception de guides d'ondes d'étalonnage

Fréquence MHz	Simulateur des tissus de la tête		Dimension du guide d'ondes a mm	Profondeur de pénétration δ mm	Séparateur diélectrique	
	ε'_r	σ S/m			ε'_r	Épaisseur mm
300	45	0,87	584,2	45,78	5,5	106,0
450	44	0,87	457,2	42,94	6,0	66,1
835 à 900	42	0,97	247,6	36,16	5,6	34,8
1 450	41	1,20	129,5	28,55	4,7	24,8
1 800 à 2 000	40	1,40	109,2	24,15	4,8	19,4
2 450	39	1,80	109,2	18,59	5,7	12,6
3 000	39	2,40	86,4	13,97	5,7	10,3
3 500	38,0	2,92	58,2	11,42	4,9	9,76
5 400	35,8	4,86	47,5	6,69	5,6	5,73
6 000	35,1	5,48	40,4	5,89	5,4	5,25

La permittivité et l'épaisseur du séparateur diélectrique peuvent s'écarter des valeurs indiquées afin de s'adapter à des matériaux commercialisés. Si la permittivité du séparateur diélectrique varie par rapport à la valeur indiquée de plus de 2 %, il est recommandé d'optimiser à nouveau l'épaisseur de l'écarteur pour identifier la plus adaptée (affaiblissement de réflexion généralement supérieur à 10 dB).

NOTE 1 Par convention, la longueur du bord court de section transversale est la moitié du bord long, c'est-à-dire, $b = a/2$.

NOTE 2 Les dimensions du guide d'ondes sont conformes à l'EIA RS-261-B: 1979 [36].

NOTE 3 Ces dimensions dépendent également des largeurs de bande des fréquences d'intérêt.

**Tableau B.3 – Analyse d'incertitude
de l'étalonnage de sonde dans le guide d'ondes**

Composante d'incertitude	<i>a</i>	Loi de probabilité	<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	ν_i
	Incertitude ± %		Diviseur	c_i	Incertitude-type ± %	
Puissance incidente ou directe		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Puissance réfléchie		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Mesurage de conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Mesurage de permittivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Écart de conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Écart de permittivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Écart de fréquence		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Homogénéité du champ		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Positionnement de la sonde de champ		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Linéarité de la sonde de champ		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Incertitude-type composée		RSS				

NOTE Les en-têtes de colonne *a*, *b*, *c* sont présentés pour référence.

B.3.3 Procédures d'étalonnage en une étape

B.3.3.1 Généralités

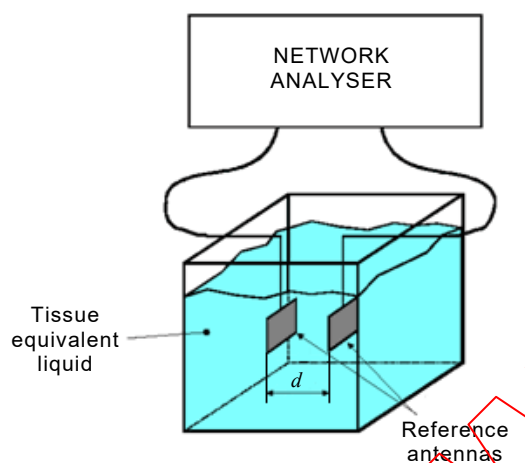
La procédure de B.3.2 peut être reformulée en une procédure en une étape (directe) en utilisant des antennes de référence. Le champ total doit être évalué selon la Formule (B.2).

Les antennes de référence sont de petites antennes conçues pour fonctionner avec le liquide équivalent aux tissus appropriés. Des exemples d'antennes développées à 900 MHz et 1 800 MHz ont été décrits dans [129], [128]. Au moins deux antennes identiques sont nécessaires pour évaluer le gain dans le lobe principal pour utilisation dans l'étalonnage de sonde.

Les méthodes indiquées en B.3.3 et en B.3.4 évaluent l'isotropie par rapport à la rotation de la sonde et la polarisation du champ incident. La méthode indiquée à l'Article B.4 prend également en compte l'angle d'incidence.

Les antennes typiques utilisées ici comprennent des antennes directives à plaque simples avec un gain de 5 dBi ou mieux (voir la Figure B.2). Dans la mesure où des lobes latéraux

dus à des réflexions multiples à la paroi du réservoir peuvent interférer avec l'étalonnage, il doit être vérifié que ceux-ci sont suffisamment atténués par le simulateur de tissu avant qu'ils n'atteignent l'extrémité de la sonde.



Anglais	Français
NETWORK ANALYSER	ANALYSEUR DE RÉSEAU
Tissue equivalent liquid	Liquide équivalent aux tissus
Reference antennas	Antennes de référence

Figure B.2 – Représentation du montage d'évaluation du gain de l'antenne

- a) L'évaluation du gain de l'antenne de référence est effectuée selon le protocole suivant.
- 1) Positionner les antennes dans le liquide de sorte que les axes de leurs faisceaux principaux soient alignés et à une distance bien définie d : $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquide}}$, où D est la plus grande dimension de l'antenne de référence et λ_{liquide} est la longueur d'onde dans le liquide. Les antennes doivent être à une distance minimale de 10 cm des parois du récipient de liquide.
 - 2) Mesurer les coefficients de réflexion ρ_1 et ρ_2 aux points d'entrée de chaque antenne.
 - 3) Mesurer le coefficient de transmission S_{21} entre les deux antennes aux mêmes ports.
 - 4) Le gain est

$$G = |S_{21}(d)| \times e^{\alpha d} \left(\frac{4\pi d}{\lambda_{\text{liquide}}} \right) \times \frac{1}{\sqrt{(1-|\rho_1|^2)(1-|\rho_2|^2)}} \quad (\text{B.7})$$

où le coefficient d'atténuation est

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c} \times (\epsilon_r'^2 + \epsilon_r''^2)^{1/4} \times \sin \left[\frac{1}{2} \arctan \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right) \right] \quad (\text{B.8})$$

Lorsqu'une analyse d'incertitude est effectuée sur le gain d'antenne de référence, au moins les paramètres inclus dans le Tableau B.4 doivent être pris en compte. Des méthodes complémentaires pour le calcul du gain d'antenne peuvent être consultées en B.3.3.2.

Tableau B.4 – Analyse de l'incertitude pour l'évaluation du gain d'antenne de référence

Source d'incertitude	Valeur d'incertitude ± %	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertitude-type, u_i ± %	ν_i ou ν_{eff}
Puissance incidente		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Coefficients de réflexion		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Distance		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Permittivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Incertitude-type composée		RSS				

b) Le protocole suivant doit être utilisé pour évaluer les coefficients de sensibilité de la sonde.

- 1) Placer une antenne dans le liquide équivalent aux tissus. L'antenne doit être à une distance minimale de 10 cm des parois du récipient du liquide.
- 2) Relier une source d'alimentation au port d'entrée de l'antenne de référence. Le champ électrique théorique E_{th} à une distance d_a de l'antenne est donné par la Formule (B.9):

$$E_{\text{th}} = \left(\frac{P_{\text{in}} (1 - |\Gamma|^2) G e^{-2\alpha d_a}}{4\pi d_a^2} \times \frac{120\pi}{\Re \sqrt{\epsilon_r}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.9})$$

où

d_a est la distance depuis l'antenne:

$$d_a \geq 2D^2 / \lambda_{\text{liquide}}$$

où

D est la plus grande dimension de l'antenne de référence,

λ_{liquide} est la longueur d'onde dans le liquide;

G est le gain d'antenne;

P_{in} est la puissance d'entrée;

Γ est le coefficient de réflexion de l'antenne.

Il est recommandé de connecter un coupleur bidirectionnel pour commander la puissance d'entrée. Régler la puissance d'entrée de sorte que $E_{\text{th}} \sim 30$ V/m.

- 3) Positionner la sonde dans le liquide de sorte que le centre des détecteurs soit à une distance d de l'antenne.
- 4) Orienter la sonde afin d'aligner la direction du capteur sur la polarisation de l'antenne de référence.
- 5) Mesurer la tension $V_{1-\text{mes}}$ au port de l'antenne de transmission.
- 6) Le coefficient de sensibilité K_1 pour cette antenne est $K_1 = V_{1-\text{mes}} / E_{\text{th}}^2$.
- 7) Répéter les Étapes 4) à 6) pour les deux autres capteurs afin d'évaluer K_2 et K_3 .

En utilisant les coefficients de sensibilité de la sonde, le DAS est déterminé par la Formule (B.10):

$$DAS = \frac{\sigma}{\rho} \left(\frac{V_{1\text{-mes}}}{K_1} + \frac{V_{2\text{-mes}}}{K_2} + \frac{V_{3\text{-mes}}}{K_3} \right) \quad (\text{B.10})$$

où ρ est la masse volumique (1 000 kg/m³).

En effectuant une analyse d'incertitude de l'étalonnage avec des antennes de référence, au moins les paramètres inclus dans le Tableau B.5 doivent être pris en compte.

Tableau B.5 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage avec une antenne de référence

Source d'incertitude	Valeur d'incertitude ± %	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertitude-type, u_i ± %	v_i ou v_{eff}
Puissance incidente		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Coefficients de réflexion		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Gain d'antenne		N	1 ou k	1		∞
Conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Permittivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Positionnement de la sonde		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Incertitude-type composée		RSS				

B.3.3.2 Formules étendues pour le gain d'antenne dans le mesurage en champ proche

Le gain d'antenne G calculé dans la Formule (B.7) et le champ électrique théorique E_{th} sont basés sur le mesurage en champ lointain dans le liquide équivalent aux tissus. Cependant, il est souvent difficile de mesurer S_{21} dans la région de champ lointain en raison d'une forte atténuation du champ dans le liquide. Dans un tel cas, une extension de la formule de transmission de Friis dans le liquide avec pertes peut être introduite pour définir le gain en champ proche de l'antenne de référence $G_{\text{proche}}(d)$, et E_{th} dans la région des champs proches peut alors être estimé [67].

Le gain en champ proche $G_{\text{proche}}(d)$ est une fonction de la distance par rapport à l'antenne d , et peut être exprimé par la série de puissance de l'inverse de d .

La procédure pour déterminer le gain d'antenne de référence G en B.3.3.1 a) est alors modifiée comme suit.

- Positionner les antennes dans le liquide de sorte que les axes de leurs faisceaux principaux soient alignés et à une distance bien définie d , et λ_{liquide} est la longueur d'onde dans le liquide. Les antennes doivent être à une distance minimale de 10 cm des parois du récipient de liquide.
- Mesurer les coefficients de réflexion ρ_1 et ρ_2 aux ports d'entrée de chaque antenne.
- Mesurer le coefficient de transmission $S_{21}(d)$ entre les deux antennes aux mêmes ports et à la même distance en modifiant d .

d) Le gain en champ proche $G_{\text{proche}}(d)$ peut être exprimé dans la Formule (B.11):

$$G_{\text{proche}}(d) = \frac{|S_{21}(d)| \exp(\alpha d) \cdot (2\beta d)}{\sqrt{(1-|\rho_1|^2) \cdot (1-|\rho_2|^2)}} = G \times \exp\left(\frac{a_1}{d} + \frac{a_2}{d^2} + \dots\right) \quad (\text{B.11})$$

où

d est la distance depuis l'antenne;

$S_{21}(d)$ est le coefficient de transmission entre les deux antennes;

P_{in} est la puissance d'entrée;

ρ_1 est le coefficient de réflexion de l'antenne 1;

ρ_2 est le coefficient de réflexion de l'antenne 2;

α est donné par la Formule (B.6);

β est $2\pi/\lambda_{\text{liquide}}$;

G est le gain d'antenne, exprimé en dB, donné dans la Formule (B.12);

$$G_{\text{proche dB}}(d) = G_{\text{dB}} \left[1 + \frac{1}{A \times d} + \frac{1}{B \times d^2} \right] \quad (\text{B.12})$$

où

d est la distance depuis l'antenne;

G_{dB} est le gain d'antenne.

Les constantes A , B ou a_1 , $a_2 \dots$ peuvent être déterminées par ajustement de courbe. Par conséquent, le choix d'un ajustement de courbe approprié pour la plage de d est important. Les constantes d'atténuation et de phase α et β dans le liquide sont obtenues à partir des propriétés diélectriques du liquide.

$E_{\text{th}}(d)$ dans la région des champs proches est alors obtenu par la Formule (B.13):

$$|E_{\text{th}}(d)|^2 = \frac{30 P_{\text{in}} (1 - |\Gamma|^2) G_{\text{proche}}(d) e^{-2\alpha d}}{\Re \left(\sqrt{\varepsilon_r} \right) d^2} \quad (\text{B.13})$$

où

α est donné par la Formule (B.8);

d est la distance depuis l'antenne;

ε_r est la permittivité relative complexe;

$G_{\text{proche}}(d)$ est le gain en champ proche;

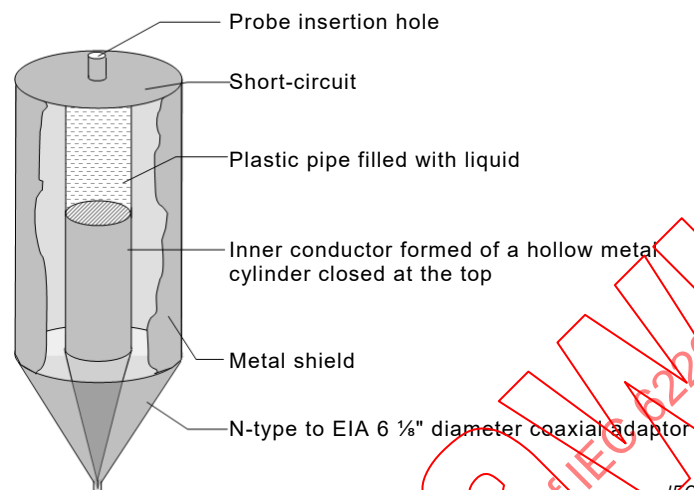
P_{in} est la puissance d'entrée;

Γ est le coefficient de réflexion de l'antenne.

B.3.4 Méthode du calorimètre coaxial

La Figure B.3 décrit un système de calorimètre coaxial pour étalonner des sondes de DAS par la méthode de l'échauffement à des fréquences inférieures à 450 MHz, selon Loader et al [98]. Il est constitué d'une ligne coaxiale avec un diélectrique d'air, ayant un diamètre de blindage extérieur égal à 2,3 fois le diamètre du conducteur interne, qui produit une impédance caractéristique de 50 Ω . À proximité de l'extrémité de court-circuit de la ligne, le conducteur interne est remplacé par un tuyau en plastique contenant le liquide fantôme, qui est en contact direct avec l'extrémité métallique du conducteur central ainsi que la plaque de court-

circuit au sommet du système. La sonde est insérée par l'intermédiaire d'une ouverture au centre de la plaque de court-circuit. Le diamètre du liquide dans le tuyau doit être le même que celui du conducteur métallique interne, et doit être suffisamment grand pour empêcher que les erreurs à proximité de la sonde ne deviennent significatives. La puissance appliquée au port d'entrée conduit à un champ polarisé axialement dans le liquide avec une distribution relativement uniforme au-dessous de 150 MHz.



Anglais	Français
Probe insertion hole	Trou d'insertion de la sonde
Short-circuit	Court-circuit
Plastic pipe filled with liquid	Tuyau en plastique rempli de liquide
Inner conductor formed of a hollow metal cylinder closed at the top	Conducteur interne formé d'un cylindre de métal creux fermé au sommet
Metal shield	Blindage métallique
N-type to EIA 6 1/8 inch diameter coaxial adaptor	Adaptateur coaxial de type N selon l'EIA de 6 1/8 pouces de diamètre

Figure B.3 – Schéma du système de calorimètre coaxial

La sonde de DAS est utilisée pour mesurer le champ électrique dans le liquide au point de référence pour une puissance d'entrée d'approximativement 1 W. Une sonde de température est ensuite utilisée pour mesurer la vitesse d'échauffement dans le liquide à la même position en utilisant une puissance d'approximativement 30 W. Par souci d'exactitude, il est important que l'échauffement réel soit limité à 1 °C, étant donné que la conductivité des liquides change de trois pour cent à cinq pour cent par degré Celsius. Le rapport de la puissance pour le mesurage de sonde de DAS et l'échauffement doit être mesuré en utilisant un capteur de puissance directionnel, ou un coupleur directif et un capteur de puissance, bien que la puissance absolue ne soit pas exigée. L'étalonnage est effectué en comparant les tensions de sortie linéaires provenant des capteurs de sonde de DAS au champ électrique dans le liquide qui est calculé par la Formule (B.14):

$$E_{\text{sonde}}^2 = \frac{\rho \times c_h}{\sigma} \frac{dT}{dt} \frac{P_{\text{capteur}}}{P_{\text{température}}} \quad (\text{B.14})$$

où

E_{sonde}^2 est le champ électrique quadratique aux capteurs de sonde;

ρ est la masse volumique du liquide fantôme;

σ est la conductivité;

c_h est la chaleur massique;
 P_{capteur} est la puissance utilisée dans le mesurage de sonde de DAS;
 $P_{\text{température}}$ est la puissance utilisée dans le mesurage de température;
 dT/dt est le taux d'augmentation de température dans le liquide.

Ce système permet des étalonnages exacts sur la plage de fréquences de 30 MHz à 450 MHz, avec une incertitude-type d'environ $\pm 5\%$. Lorsque l'étalonnage est effectué en utilisant cette méthode, au moins les paramètres compris dans le Tableau B.6 doivent être pris en compte.

Tableau B.6 – Composantes d'incertitude pour l'étalonnage de sonde en utilisant des méthodes thermiques

Composante d'incertitude	a Incertitude $\pm\%$	Loi de probabilité	b Diviseur	c Coefficient de sensibilité c_i	$u_i = (a/b) \times (c)$ Incertitude-type $\pm\%$	v_i ou v_{eff}
Coefficient de température du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Capacité thermique du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Masse volumique du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Conductivité du liquide		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Linéarité et dérive du capteur de puissance		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Linéarité de la sonde de température		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Effets thermiques conduisant à un échauffement non linéaire		R	$\sqrt{3}$	1		∞
Erreurs de position		N	1	1		∞
Incertitude-type composée		RSS				

B.4 Isotropie

B.4.1 Isotropie axiale

La sonde doit être exposée à une onde avec une polarisation incidente perpendiculaire à l'axe de la sonde. L'isotropie axiale est déterminée en tournant la sonde le long de son grand axe de 0° à 360° avec des incréments inférieurs ou égaux à 15° .

B.4.2 Isotropie hémisphérique

B.4.2.1 Généralités

La sonde doit être exposée à une onde de référence avec des angles d'incidence variables par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de la sonde. L'évaluation de l'isotropie sphérique doit être effectuée dans un emplacement où les gradients de DAS sont inférieurs à 3 % par millimètre. L'isotropie hémisphérique doit être déterminée en inclinant la sonde ou en modifiant la polarisation de l'onde de référence. Les angles d'incidence doivent varier de 90° (axial) à 0° (normal), avec des incréments inférieurs ou égaux à 30° . Pour chaque angle d'incidence, la sonde doit être tournée sur 360° , par incréments inférieurs ou égaux à 15° .

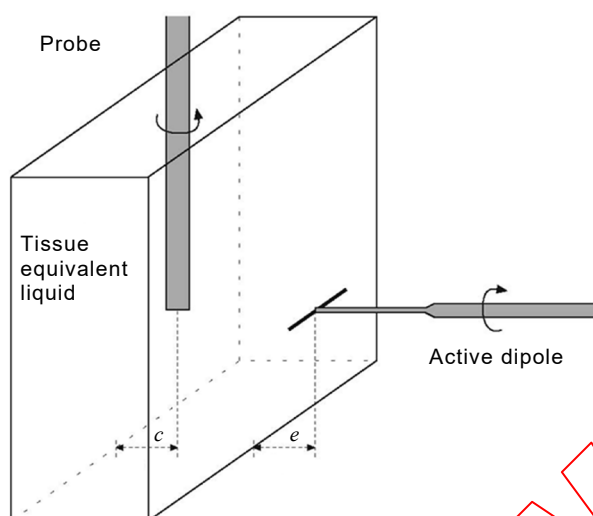
Les quatre méthodes suivantes, qui donnent des résultats similaires, peuvent être utilisées pour l'isotropie hémisphérique:

- a) fantôme plan avec dipôle sur le côté;
- b) fantôme plan avec dipôle au-dessous;
- c) fantôme sphérique avec dipôle;
- d) méthode de l'antenne de référence (voir B.4.2.5).

B.4.2.2 Isotropie avec dipôle et fantôme plan sur le côté

Le montage est constitué d'une boîte en plastique aux fines parois remplie de liquide équivalent aux tissus, exposé à un dipôle résonnant en demi-onde et fonctionnant à la fréquence d'essai. Le protocole suivant doit être utilisé pour évaluer l'isotropie sphérique de la sonde.

- Monter l'antenne de dipôle horizontalement sur un dispositif de montage et la positionner parallèlement au fantôme plan (voir Figure B.4). L'antenne doit être placée à une distance maximale de $e = \lambda/10$ de la paroi adjacente du récipient de liquide.
- Insérer la sonde verticalement dans le liquide de sorte que le centre des trois capteurs de la sonde soit positionné face au point d'alimentation du dipôle à la hauteur de l'axe du dipôle.
- La position horizontale de la sonde doit être, autant que possible, au maximum de l'onde stationnaire, à proximité du côté arrière de la boîte, à une distance c de l'interface fantôme/liquide, où le champ E est partiellement homogène et le champ H est à un minimum.
- Le dipôle doit pivoter autour de l'axe de son dispositif de montage d'au moins 0° à 180° par incréments inférieurs ou égaux à 30° .
- A chaque incrément la sonde est tournée sur son axe de 0° à 360° par le positionneur de sonde et les données de mesure sont enregistrées, avec des incréments inférieurs ou égaux à 15° .
- L'écart de l'isotropie sphérique est alors exprimé comme étant une composante d'incertitude avec une loi de probabilité rectangulaire limitée par les maxima de réponse mesurés. Des informations détaillées peuvent être consultées dans [133].



Anglais	Français
Probe	Sonde
Tissue equivalent liquid	Liquide équivalent aux tissus
Active dipole	Dipôle actif

Légende

c Distance entre la sonde et la paroi arrière

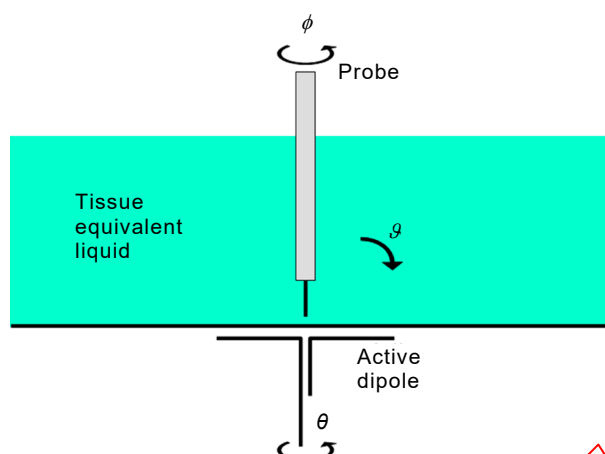
e Distance maximale par rapport à la paroi avant du récipient de liquide

NOTE L'évaluation est effectuée de préférence à la position c des gradients de champ minimal résultant de l'onde stationnaire. La dimension e est la distance entre le point d'alimentation du dipôle et l'interface de la paroi avant et du liquide.

Figure B.4 – Montage utilisé pour évaluer l'écart de l'isotropie sphérique dans le liquide équivalent aux tissus

B.4.2.3 Isotropie avec le fantôme plan et le dipôle au-dessous

Un autre montage pour l'évaluation de l'isotropie est représenté à la Figure B.5. Un dipôle demi-onde monté sur un support est positionné avec ses bras parallèles à et situés sous un fantôme plan rempli de liquide équivalent aux tissus. Une sonde est positionnée à un point directement au-dessus du point d'alimentation du dipôle. Toutes les rotations de la sonde sont effectuées et commandées par un positionneur de haute exactitude. La rotation de la sonde sur son axe (rotation ϕ de 0° à 360°), simultanée à la rotation (rotation θ de 0° à 180°) du dipôle, et pour des variations de l'angle ϑ (de 0° à 75°) d'inclinaison de la sonde produisent une évaluation 3D d'une part significative de l'hémisphère recevant le signal.



Anglais	Français
Probe	Sonde
Tissue equivalent liquid	Liquide équivalent aux tissus
Active dipole	Dipôle actif

Légende

ϑ Angle d'inclinaison de l'axe de la sonde

θ Angle de rotation de l'axe du dispositif de montage du dipôle

ϕ Angle de rotation de la sonde sur son axe

Figure B.5 – Autre montage pour évaluer l'écart de l'isotropie sphérique dans le liquide équivalent aux tissus

B.4.2.4 Isotropie avec le dipôle et le fantôme sphérique

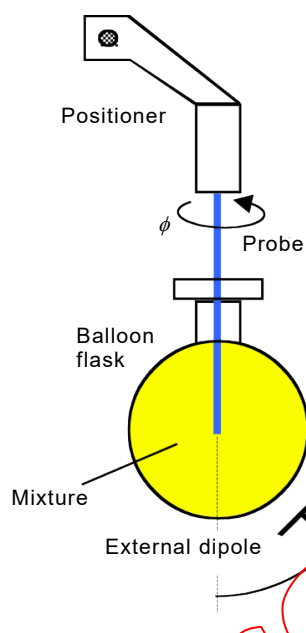
L'isotropie hémisphérique de la sonde peut être évaluée en utilisant un montage comprenant un flacon sphérique rempli de liquide et un dipôle externe [38]. Les capteurs de la sonde sont positionnés au centre géométrique du flacon et la sonde est tournée sur son axe pour différentes conditions d'excitation (angle d'impact de l'onde incidente et polarisation) fournies par l'antenne de dipôle externe. Dans ce montage, il n'est pas exigé que le positionneur de la sonde incline et tourne la sonde simultanément.

Le montage de mesure, représenté à la Figure B.6 [38], consiste en un flacon sphérique qui est rempli avec un liquide équivalent aux tissus. La sonde est positionnée verticalement avec ses capteurs situés au centre volumétrique de la sphère. L'excitation est fournie par un dipôle demi-onde externe réglé à la fréquence de fonctionnement souhaitée. L'axe du dipôle est aligné avec le plan tangent de la surface de la sphère au-dessus du point d'alimentation du dipôle.

NOTE Des flacons plus petits peuvent être préférables parce que l'augmentation de la conductivité du liquide ou de la fréquence de fonctionnement implique une perte de trajet plus grande pour les ondes transmises à la sonde. Des flacons plus grands possèdent des surfaces localement plus planes (rayon de courbure plus grand), qui produisent localement un front d'onde plus plat sur l'extrémité de la sonde et augmentent la tolérance sur le positionnement du dipôle.

La Figure B.7 [38] représente les conventions utilisées pour décrire la position et la polarisation de l'antenne. Un mesurage 3D du signal reçu par la sonde sur un hémisphère est accompli par la rotation sur 360° de la sonde autour de son axe (ϕ) tandis que le positionnement du dipôle externe varie sur un angle $0^\circ \leq \xi \leq 360^\circ$. Chaque polarisation souhaitée de l'onde incidente est obtenue par une rotation $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ du dipôle autour de son axe. Des positions θ multiples ne sont pas nécessaires quand $\xi = 0^\circ$. Bien qu'un grand

nombre de points de mesure soit possible avec ce montage, généralement des incréments de 30° pour ξ et de 15° pour θ sont suffisants pour la caractérisation.

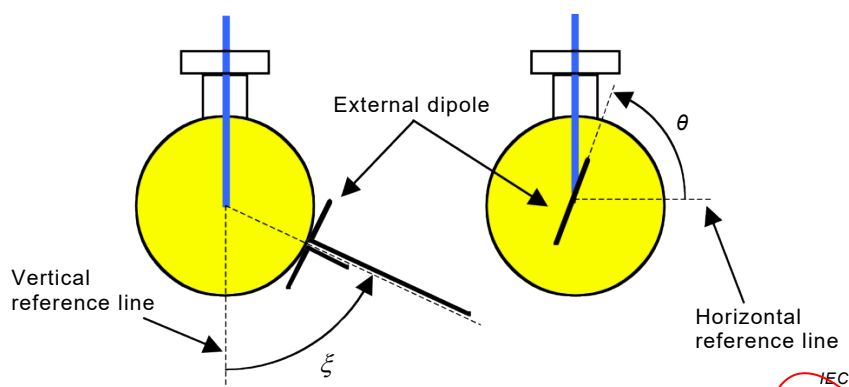


Anglais	Français
Positioner	Positionneur
Probe	Sonde
Balloon flask	Ballon
Mixture	Mélange
External dipole	Dipôle externe

Légende

- ξ Angle d'élévation de l'axe du dipôle
 θ Angle de rotation du dipôle
 ϕ Angle de rotation de l'axe de la sonde

Figure B.6 – Montage expérimental pour l'évaluation de l'isotropie hémisphérique



Anglais	Français
External dipole	Dipôle externe
Vertical reference line	Ligne de référence verticale
Horizontal reference line	Ligne de référence horizontale

Légende

ξ Angle d'élévation de l'axe du dipôle

θ Angle de rotation du dipôle

NOTE ξ est l'angle entre l'axe de la sonde et l'axe du support de dipôle. θ est l'angle entre l'axe de la sonde et l'axe du dipôle.

Figure B.7 – Conventions pour la position (ξ) du dipôle et la polarisation (θ)

Les mesurages consistent en des rotations complètes de 360° de la sonde pour chaque position du dipôle et pour chaque polarisation (ξ, θ). La puissance rayonnée pendant chaque rotation doit être contrôlée et enregistrée pour chaque position ϕ de la sonde, et les échantillons de DAS doivent être normalisés à une valeur nominale. Bien que cela ne puisse être exclu a priori, il n'y a pas de raison particulière pour que des positions et des polarisations du dipôle externe autres que celles envisagées ici produisent des résultats d'isotropie significativement plus défavorables. Cependant, la matrice d'essais peut être étendue pour inclure un cas d'intérêt particulier, par exemple des conditions de polarisation qui coïncident avec l'orientation du capteur de certaines sondes.

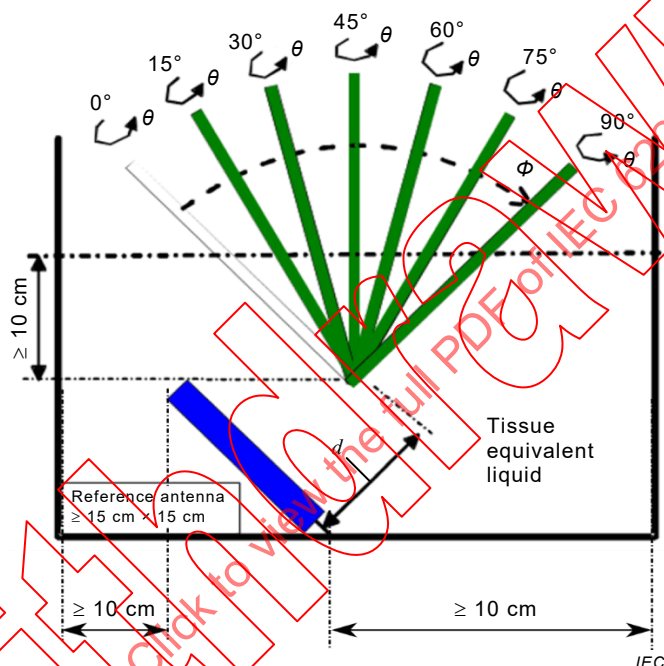
Comme pour l'essai d'isotropie du fantôme plan, l'hypothèse est faite d'une loi rectangulaire de l'incertitude. Cependant, l'incertitude peut être réduite considérablement quand l'étalonnage de la sonde est effectué sous une polarisation spécifique et sous une direction de l'onde incidente particulière, et que les mêmes conditions sont maintenues pendant les mesurages de DAS.

B.4.2.5 Isotropie avec des antennes de référence

Le protocole suivant doit être adopté pour évaluer l'isotropie de la sonde en utilisant le montage de l'antenne de référence représenté à la Figure B.8.

- Placer une antenne dans le liquide équivalent aux tissus. L'antenne doit être à une distance minimale de 10 cm des parois du récipient du liquide et avec des dimensions telles qu'elle peut être placée dans la position indiquée à la Figure B.8.
- Placer la sonde dans le liquide de sorte que le centre géométrique des capteurs soit à une distance d de l'antenne: $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquide}}$, où D est la plus grande dimension de l'antenne de référence et λ_{liquide} est la longueur d'onde dans le liquide. Il est recommandé que, dans cette position, la valeur de DAS soit comprise entre 0,5 W/kg et 1 W/kg.

- c) Orienter l'axe de la sonde de sorte que son axe principal soit orthogonal à la direction de propagation de l'antenne (voir Figure B.8).
- d) Tourner la sonde autour de son axe principal de 0° jusqu'à 360° avec des incréments inférieurs ou égaux à 15°. Enregistrer les valeurs de DAS. L'isotropie axiale est exprimée comme étant une composante d'incertitude avec une loi de probabilité rectangulaire basée sur les maxima de réponse mesurés.
- e) Modifier l'incidence du champ de référence en inclinant l'antenne de référence ou l'axe de la sonde (voir Figure B.8) de 0° à 90°, avec des incréments de 15° ou de 30°.
- f) Pour chaque angle d'incidence, tourner la sonde autour de son axe principal de 0° jusqu'à 360° avec des incréments inférieurs ou égaux à 15°. Enregistrer les valeurs de DAS.
- g) L'isotropie hémisphérique est exprimée comme étant une composante d'incertitude avec une loi de probabilité rectangulaire limitée par les maxima de réponse mesurés.



Anglais	Français
Reference antenna	Antenne de référence
Tissue equivalent liquid	Liquide équivalent aux tissus

Légende

- θ Angle de rotation de l'axe de la sonde
- ϕ Angle d'inclinaison de l'axe de la sonde
- $d \geq 2D^2/\lambda_{\text{liquide}}$
- D La plus grande dimension de l'antenne de référence
- λ_{liquide} Longueur d'onde dans le liquide

Figure B.8 – Mesurage de l'isotropie hémisphérique avec l'antenne de référence

B.5 Limite inférieure de détection

La limite inférieure de détection est le DAS minimal mesurable dans l'incertitude totale du système. Elle est associée au niveau de bruit et au décalage du système de mesure et peut être évaluée en faisant varier la puissance de sortie dans la même configuration comme décrit au 7.2.2.3 (c'est-à-dire, en vérifiant que la sonde répond toujours de façon linéaire au

niveau minimal de détection de DAS exigé). Dans des conditions opérationnelles réelles du système de mesure, l'environnement électromagnétique ambiant peut altérer la limite de détection. Par conséquent, la vérification de la limite inférieure de détection en utilisant le montage de fantôme plan décrit à l'Annexe H, ou un guide d'ondes d'étalonnage, est recommandée. La limite inférieure de détection exigée est de 10 mW/kg.

B.6 Effets de bord

À proximité immédiate de la surface interne de l'enveloppe d'un fantôme, la sensibilité de la sonde dévie de celle définie dans des conditions normales d'étalonnage. Les effets de bord sont évalués avec les montages de guide d'ondes ouverts remplis de liquide utilisés pour l'étalonnage de sonde. Le DAS maximal moyenné est mesuré en utilisant tous les composants du système et les mesurages de routine de compensation. L'incertitude due aux effets de bord est l'écart par rapport à la valeur analytique à la surface, qui est estimée par extrapolation de la tendance d'échantillons mesurés à l'interface du liquide et de la plaque de séparation diélectrique. Ce mesurage doit être effectué pour chaque bande de fréquences et pour chaque volume d'intégration. Pour les fréquences au-dessous de 800 MHz, lorsque les guides d'onde d'étalonnage peuvent ne pas être disponibles en raison de la taille relativement élevée, un montage expérimental constitué d'un dipôle demi-onde au-dessous d'un fantôme plan peut être utilisé. Dans ce cas, l'extrapolation à la surface n'est pas basée sur le comportement analytique connu de modes à ondes guidées, mais sur une extrapolation d'échantillons mesurés. L'erreur d'effet de bord est définie comme étant l'écart entre les données de DAS mesurées et la valeur réelle dans le liquide. Lorsque la sonde est orientée perpendiculairement à la surface du fantôme, l'effet de bord peut être en grande partie compensé comme décrit dans [132]. L'incertitude de l'effet de bord doit être évaluée selon 7.2.2.5.

B.7 Temps de réponse

L'incertitude du temps de réponse de signal de sonde en fonction du champ est évaluée par exposition de la sonde à une réponse à un échelon de champ E produisant au moins 100 W/kg. Le temps de réponse du signal est déterminé comme étant le temps exigé pour que la sonde et ses lectures électroniques atteignent 90 % de la valeur finale prévue après un incrément de variation par commutation marche/arrêt de la source d'alimentation RF. La sonde doit rester stationnaire à chaque position de mesure pendant au moins trois fois le temps de réponse évalué afin d'assurer une incertitude de temps de réponse de signal de sonde négligeable. Dans ces conditions de mesure, une valeur d'incertitude de zéro peut être entrée dans le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13. Sinon, l'incertitude de DAS due à l'incertitude de temps de réponse du signal doit être évaluée en utilisant les caractéristiques de signal du dispositif d'essai. Dans ce cas, l'incertitude de temps de réponse à un échelon de signal est égale au pourcentage de différence entre le DAS mesuré avec le temps de mesure choisi et le DAS mesuré avec un temps de mesure égal à au moins trois fois le temps de réponse évalué. Une loi de probabilité rectangulaire doit être retenue.

Annexe C (normative)

Techniques post-traitement

C.1 Processus d'extrapolation et d'interpolation

C.1.1 Remarques introductives

Le DAS local à l'intérieur du fantôme doit être mesuré en utilisant des capteurs à petits dipôles placés à l'intérieur du boîtier de la sonde. L'étalonnage de sonde (mettant en œuvre le mesurage de champ E) peut être réalisé par rapport au centre géométrique de l'ensemble de dipôles internes, auquel cas le fait que les dipôles soient à quelques millimètres de l'extrémité physique de la sonde doit être pris en compte lors de la définition des positions de mesure. L'extrémité de la sonde ne doit pas être en contact avec la surface du fantôme afin de réduire au minimum les incertitudes de l'effet de bord de la sonde, bien que les valeurs locales maximales de DAS se produisent généralement sur la surface du fantôme. L'évaluation de ces valeurs locales maximales de DAS est importante pour déterminer le DAS maximal moyenné, et doit, par conséquent, être obtenue par extrapolation, à partir de mesurages effectués à plusieurs distances de la surface du fantôme. L'évaluation exacte du DAS maximal moyenné exige une résolution très fine selon le Tableau 2 dans un volume balayé tridimensionnel et les mesurages doivent être effectués avec une batterie entièrement chargée. Les données mesurées doivent être extrapolées et interpolées pour obtenir une matrice de données avec une résolution suffisante pour calculer avec exactitude le DAS maximal moyenné global. L'incertitude de mesure résultant de cette interpolation et de cette extrapolation et autres procédures numériques (intégration, calcul de moyenne, etc.) doit être déterminée. L'incertitude d'emplacement des points de mesure est déterminée comme étant une composante distincte de l'incertitude.

C.1.2 Procédures d'interpolation

L'interpolation peut être effectuée en utilisant différentes techniques mathématiques telles que statistiques [41], ajustements de courbe de fonction de base [86], analyse de Fourier [40] et ondelette [42] ou ajustements de courbe d'un polynôme ou d'une fonction spline [146]. Plusieurs manuels d'analyse numérique, par exemple [135], décrivent comment mettre en œuvre certaines de ces méthodes.

C.1.3 Procédures d'extrapolation

L'extrapolation peut être réalisée en utilisant des splines, des splines biharmoniques, des ondelettes, des polynômes ou des fonctions rationnelles. Plusieurs manuels de mathématiques informatiques décrivent comment mettre en œuvre certaines de ces méthodes. Du fait que l'exactitude de l'extrapolation dépend de la distance entre points de mesure et de la distribution du champ en question, l'incertitude liée à l'extrapolation doit être estimée soigneusement.

C.2 Procédure d'intégration et recherche du maximum

C.2.1 Procédures d'intégration par le volume

Les volumes cubiques sur lesquels les mesurages des valeurs locales de DAS sont moyennés après extrapolation et interpolation doivent s'étendre jusqu'à la surface du fantôme afin d'inclure les valeurs les plus élevées de DAS local. Dans le post-traitement, le cube d'intégration doit coïncider avec l'une de ses faces parallèles à la surface du fantôme.

C.2.2 Méthode d'intégration par extrusion

La méthode d'intégration est intrinsèquement simple puisque le cube se conforme essentiellement à la grille de mesure ou au moins à la grille de données extrapolées et interpolées. Le DAS maximal moyenné est déterminé en déplaçant le cube d'intégration sur une zone choisie, par exemple une zone avec un DAS local au-dessus d'un certain critère. La Figure C.1 représente la méthode d'intégration par extrusion. Le balayage du volume peut être effectué parallèlement à la surface du fantôme à condition que les quatre faces latérales soient parallèles à la droite perpendiculaire au fantôme au centre de la face de cube adjacente à la surface du fantôme. Cela assure que le volume extrudé est proche d'une forme cubique et se conforme à la surface.

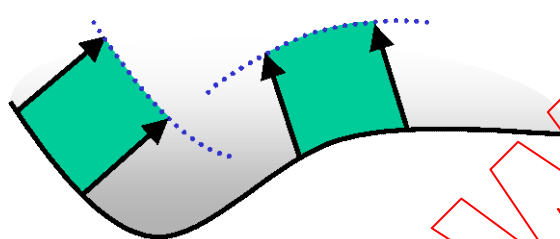


Figure C.1 – Méthode d'intégration par extrusion

C.2.3 Recherche du DAS maximal et évaluation de l'incertitude

Le DAS maximal local se produit sur la surface intérieure du fantôme, ainsi le DAS maximal moyenné doit se produire dans un volume cubique de tissus sur la surface du fantôme. Par conséquent, le volume du balayage-zoom doit être centré sur l'emplacement du DAS maximal, déterminé à partir d'une zone située à proximité de la surface du fantôme. Le volume du balayage-zoom doit se prolonger latéralement sur au moins 1,5 fois la dimension linéaire du cube d'intégration utilisé pour déterminer le DAS maximal moyenné. Des algorithmes pilotés par ordinateur doivent être utilisés pour déterminer le DAS maximal moyenné le plus élevé suivant les gradients de DAS local dans le volume interpolé et extrapolé du balayage-zoom. La contribution du processus d'intégration et de recherche des maxima à l'incertitude est incluse dans les méthodes d'évaluation de 7.2.10 parce que cette dernière ne sert pas seulement de référence pour l'interpolation et l'extrapolation, mais également pour les processus d'intégration et de recherche des valeurs maximales.

C.3 Exemple de mise en œuvre de paramètres pour le balayage et l'évaluation des données

C.3.1 Généralités

Les parties suivantes décrivent des exemples de paramètres pour la mise en œuvre de procédures de balayage de DAS et d'évaluation de données. Ils sont seulement destinés à représenter une mise en œuvre particulière, d'autres mises en œuvre étant possibles.

C.3.2 Exigences de mesure du balayage de surface

Pour les combinés fonctionnant au-dessus de 300 MHz et évalués avec le modèle de tête homogène, la distribution de DAS est mesurée sur une grille à grosse maille à deux dimensions, à une distance fixe de séparation de la surface de l'enveloppe du fantôme tel que défini dans le Tableau 1. La région de balayage doit couvrir toutes les zones incluses dans la projection du combiné. Afin de maintenir une distance fixe de la surface avec une tolérance de ± 1 mm, comme exigé par le protocole de mesure, la forme exacte et les dimensions de la surface interne du fantôme doivent être connues, préétalonnées et de préférence détectées pendant le mesurage de DAS avec un mécanisme de détection de surface optique ou mécanique satisfaisant aux exigences de positionnement de la sonde. Cette technique

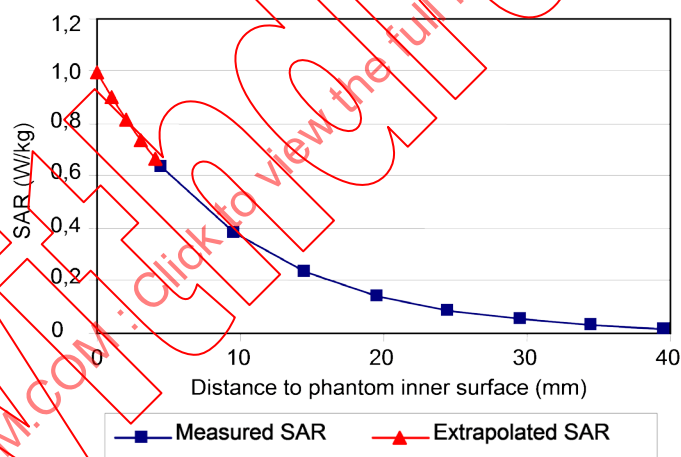
d'évaluation détermine l'espacement maximal entre les points de la grille comme indiqué dans le Tableau 1 pour atteindre la précision exigée si deux splines cubiques placées en quinconce sur une dimension [135] sont utilisées pour situer l'emplacement du DAS maximal [138].

C.3.3 Balayage-zoom

Le DAS maximal moyenné est évalué sur une grille d'interpolation de résolution de 1 mm après le balayage-zoom. Le volume du balayage-zoom est positionné aux emplacements du DAS maximal à partir du balayage de surface et mesuré conformément aux exigences du Tableau 2. Les résolutions de balayage parallèles à la surface, et celles perpendiculaires à la surface du fantôme doivent être soigneusement choisies conformément au Tableau 2 pour obtenir l'exactitude d'extrapolation exigée.

C.3.4 Extrapolation

Étant donné que la position réelle de mesure de la sonde de champ correspond au centre géométrique des capteurs dipôles, qui est déplacé par rapport à l'extrémité de la sonde, les valeurs de DAS entre la surface du fantôme et les points mesurables les plus proches exigés pour calculer le DAS maximal moyenné sur 1 g ou 10 g doivent être déterminées par extrapolation. Bien qu'une courbe exponentielle de base puisse ne pas être appropriée pour extrapoler beaucoup de distributions typiques de DAS apparaissant dans les évaluations de combinés, une courbe polynomiale des moindres carrés d'ordre 4 des données mesurées donne généralement des résultats satisfaisants. Les triangles représentés à la Figure C.2 représentent les valeurs de DAS extrapolées par incréments de 1 mm pour des points proches de la surface du fantôme qui ne peuvent pas être mesurés.



IEC

Anglais	Français
SAR (W/kg)	DAS (W/kg)
Distance to phantom inner surface (mm)	Distance de la surface interne du fantôme (mm)
Measured SAR	DAS mesuré
Extrapolated SAR	DAS extrapolé

Figure C.2 – Extrapolation des données de DAS à la surface interne du fantôme basée sur une courbe polynomiale des moindres carrés d'ordre 4 des données mesurées (quadratiques)

C.3.5 Interpolation

Les valeurs de DAS mesurées et extrapolées dans le volume de balayage-zoom sont interpolées sur une grille de 1 mm pour déterminer les DAS maximaux moyennés sur 1 g ou

10 g, par exemple en utilisant 3 splines cubiques placées en quinconce sur une dimension [135].

C.3.6 Intégration

Une solution pour intégrer le DAS sur un cube de 1 g ou un cube de 10 g est l'algorithme trapézoïdal de base. Le DAS maximal moyenné le plus élevé est déterminé par des algorithmes de recherche qui appliquent une intégration numérique à tous les cubes possibles de 1 g ou de 10 g dans le volume de balayage-zoom ou par l'application de procédures plus complexes. Si une surface du cube le plus élevé de 1 g ou de 10 g touche le bord du volume de balayage-zoom, le balayage-zoom doit être entièrement répété avec un nouveau centre situé à la position de DAS maximal moyenné le plus élevé indiquée par le mesurage précédent de balayage-zoom.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62209-1:2016

Withd2Wm

Annexe D (normative)

Vérification du système de mesure de DAS

D.1 Considérations générales

La présente annexe présente des procédures pour les deux niveaux suivants de vérification du système de mesure de DAS:

- a) *contrôle du système*;
- b) *validation du système*.

Les objectifs et applications de ces différents niveaux de procédures de vérification sont les suivants.

Le *contrôle du système* constitue une méthode d'essai rapide et fiable qui peut être appliquée en routine pour vérifier l'exactitude de mesure du système DAS. L'objectif est ici de déterminer que le système DAS et les milieux équivalents aux tissus sont acceptables pour réaliser un essai aux fréquences de fonctionnement d'un combiné. Cet essai exige un fantôme plan et une source rayonnante, par exemple un dipôle demi-onde.

La *validation du système* constitue un moyen de validation au niveau du système par rapport aux spécifications du système DAS et ses composants. Le montage d'essai est constitué d'un fantôme plan et d'une source de *validation du système* (voir Annexe G). Cet essai est effectué annuellement (par exemple après l'étalonnage de la sonde), avant les mesurages relatifs à une comparaison interlaboratoires (Annexe E) et chaque fois que des modifications sont apportées au système, telles que de nouvelles sondes ou des changements de logiciel, l'ajout de lectures électroniques différentes ou de sondes différentes.

Étant donné qu'un fantôme plan est utilisé, un *contrôle du système* et une *validation du système* ne résolvent pas le problème d'incertitude de mesure associée au fantôme SAM anthropomorphe et à la variabilité de positionnement du dispositif d'essai.

NOTE Les comparaisons interlaboratoires permettent de quantifier la reproductibilité de mesure de DAS en utilisant un combiné de référence et le fantôme SAM anthropomorphe. Les mesurages couvrent à la fois la diffusion des données due à l'incertitude de positionnement du fantôme SAM et du dispositif, qui ne sont pas inclus dans le *contrôle du système* et la *validation du système*. Les essais peuvent également être utilisés pour établir l'exactitude et l'incertitude de mesure prévues entre différents laboratoires.

D.2 Contrôle du système

D.2.1 Objet

L'objet du *contrôle du système* est de vérifier que le système fonctionne dans les limites de ses spécifications aux fréquences d'essai du dispositif. Le *contrôle du système* vérifie la répétabilité de mesure d'un système DAS avant l'essai de conformité et n'est pas une validation de toutes les spécifications du système. Cette dernière n'est pas exigée pour soumettre à l'essai un dispositif, mais est obligatoire avant le déploiement du système. Le *contrôle du système* détecte les dérives possibles à court terme et les incertitudes ou erreurs de mesure inacceptables dans le système, telles que:

- a) paramètres de liquide incorrects (par exemple, dus à un mesurage diélectrique inexact);
- b) défaillances de composant du système d'essai;
- c) dérive de composant du système d'essai;
- d) erreurs de l'opérateur dans le montage de mesure et le paramétrage de mesure;

- e) d'autres conditions indésirables possibles qui peuvent introduire des erreurs de mesure, par exemple, un brouillage radioélectrique.

Le *contrôle du système* est un mesurage complet du DAS maximal moyenné sur 1 g ou 10 g dans un montage simplifié avec une source de contrôle du système (voir D.2.3). L'instrumentation et les procédures du *contrôle du système* doivent être les mêmes que celles utilisées lors des essais de conformité. Le *contrôle du système* doit être effectué en utilisant le même liquide et le même point de fréquence d'étalonnage de sonde comme dans les essais de conformité et dans la plage de fréquences valide de l'étalonnage de sonde, les paramètres diélectriques équivalents aux tissus et l'affaiblissement de réflexion de dipôle exigés pour les mesurages de DAS. Les fréquences auxquelles le *contrôle du système* est effectué doivent être à 10 % des fréquences centrales du dispositif d'essai lorsqu'il est au-dessous de 1 000 MHz ou à 100 MHz des fréquences centrales du dispositif d'essai lorsqu'il est au-dessus de 1 000 MHz. Les exigences environnementales pour les essais de *contrôle du système* sont spécifiées en 5.1.

Le *contrôle du système* doit être effectué avant les essais de conformité ou dans les 24 h qui précèdent l'évaluation de DAS et sur le même système de mesure de DAS qui est utilisé pour l'évaluation de DAS du combiné. Les valeurs cibles de DAS de *contrôle du système* peuvent s'écarter des valeurs numériques cibles du Tableau D.1 et du Tableau D.2 en raison de variations de conception, d'incertitudes mécaniques et électriques de la source de *contrôle du système*, en particulier à des fréquences élevées comme indiqué dans le Tableau D.1. Par conséquent, les valeurs cibles de *contrôle du système* doivent être déterminées pour la source de *contrôle du système* individuelle par des validations numériques et expérimentales. Les valeurs cibles numériques de DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g présentées au Tableau D.1 ont été validées de façon expérimentale pour la présente Norme en utilisant le montage d'essai de *contrôle du système* de la Figure D.1 et les paramètres diélectriques de tissu dans le Tableau A.3.

D.2.2 Montage du fantôme

Un fantôme plan doit être utilisé avec le liquide équivalent aux tissus pour le *contrôle du système* et la *validation du système*. Les spécifications pour le fantôme plan sont données à l'Annexe A.

Pour les sources de dipôle, le point d'alimentation doit être centré au-dessous du fantôme plan, et les bras du dipôle doivent être alignés avec l'axe principal ou l'axe long du fantôme (voir l'Article G.1 pour les spécifications de dipôle). La permittivité relative du matériau de l'enveloppe du fantôme doit être comprise entre 2 et 5. Cependant, moins de 2 peut être acceptable seulement au-dessous de 3 GHz. L'épaisseur de la section inférieure du fantôme plan doit être de 2 mm. L'épaisseur doit être uniforme avec une tolérance de $\pm 0,2$ mm. La tangente de perte du matériau de l'enveloppe du fantôme doit être inférieure ou égale à 0,05. Le matériau doit être résistant aux dégradations ou réactions chimiques avec le liquide équivalent aux tissus. Lorsqu'il est rempli de liquide, la flèche à l'interface liquide et la surface interne du fantôme directement au-dessus de la source (par exemple un dipôle) doivent être inférieures à 1 % de la longueur d'onde dans l'espace libre pour la plage de fréquences de 800 MHz à 6 000 MHz, et inférieures à 0,5 % de la longueur d'onde dans l'espace libre pour les fréquences au-dessous de 800 MHz. Afin de réduire au minimum les réflexions de la surface supérieure du liquide équivalent aux tissus, la profondeur du liquide doit être d'au moins 15 cm. Une profondeur de liquide inférieure à 15 cm peut être utilisée s'il est démontré (par exemple, en utilisant des simulations numériques) que l'effet sur le DAS maximal moyenné est inférieur à 1 % du DAS mesuré dans les conditions les plus défavorables. S'il est supérieur à 1 %, mais inférieur à 3 %, la valeur la plus défavorable doit être ajoutée au bilan d'incertitude.

D.2.3 Source de contrôle du système

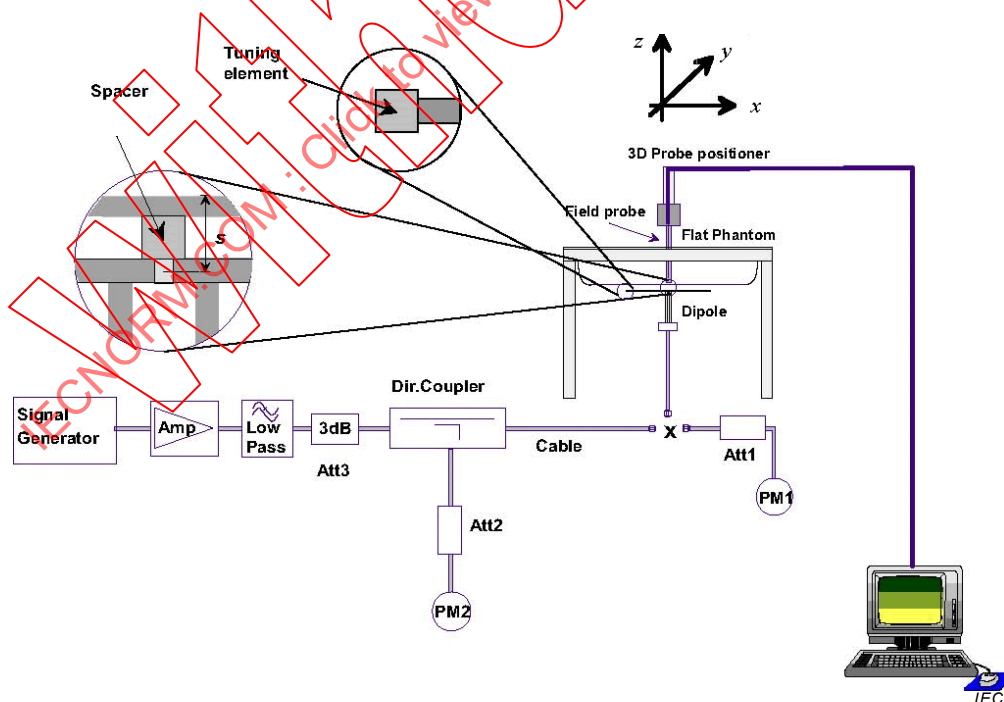
Le fantôme doit être irradié en utilisant une source rayonnante pour la fréquence exigée (par exemple, un dipôle demi-onde, une antenne à plaque ou un guide d'ondes). Les sources utilisées pour la *validation du système* (voir Annexe G) sont généralement, mais pas nécessairement, utilisées pour le *contrôle du système*. La source de *contrôle du système* doit

disposer d'un bon niveau de répétabilité de positionnement, de stabilité mécanique et d'adaptation d'impédance. Ci-après, un dipôle demi-onde est utilisé en tant qu'exemple pour représenter les exigences de positionnement de source de *contrôle du système*. Des instructions similaires doivent être appliquées pour d'autres sources.

Un dipôle demi-onde doit être positionné sous la base du fantôme et centré avec son axe parallèle à la plus grande dimension du fantôme, à $\pm 2^\circ$. La distance entre la surface interne du fantôme rempli de liquide et le point d'alimentation du dipôle, s , est spécifiée dans le Tableau H.1 pour chaque fréquence d'essai. Un écarteur de faible perte (tangente de perte $< 0,05$) et de faible constante diélectrique (permittivité relative < 5) doit être utilisé pour établir une distance correcte entre le dessus de la surface du dipôle et la surface de la base du fantôme. Au-dessous de 3 GHz, l'écarteur ne doit pas modifier le DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g mesuré de plus de 1 %, comparé à l'état sans écarteur. Au-dessus de 3 GHz, l'écarteur peut affecter la valeur de DAS cible d'un dipôle et il est nécessaire de le prendre en compte pour toute validation expérimentale supplémentaire (voir le premier alinéa en bas du Tableau D.1). Le dipôle doit avoir un affaiblissement de réflexion supérieur à 20 dB à la fréquence d'essai de *contrôle du système*, qui doit être mesuré annuellement pendant la *validation du système* en utilisant un analyseur de réseau, pour assurer que l'incertitude de mesure de DAS due à la réflexion de puissance reste faible. Pour satisfaire à cette exigence, il peut être nécessaire de régler finement les dipôles en utilisant des éléments de réglage en matériau diélectrique à faible perte ou métallique aux extrémités d'un dipôle. L'incertitude acceptable pour le dipôle et la distance de séparation du liquide, s , pour le montage d'essai de la Figure D.1 doit être à $\pm 0,2$ mm.

D.2.4 Mesurage de la puissance d'entrée de la source de *contrôle du système*

L'incertitude de la puissance fournie à la source doit être la plus faible possible. Cela exige l'utilisation d'un montage d'essai avec des coupleurs directifs et des wattmètres pendant le *contrôle du système*. Le montage recommandé est représenté à la Figure D.1 (qui utilise un dipôle demi-onde en tant qu'exemple de source de *contrôle du système*).



Anglais	Français
Spacer	Écarteur
Tuning element	Élément de réglage

Anglais	Français
3D probe positioner	Positionneur de sonde 3D
Field probe	Sonde de champ
Flat phantom	Fantôme plan
Dipole	Dipôle
Signal generator	Générateur de signal
Low Pass	Passe-bas
Dir. Coupler	Coupleur directif
Cable	Câble

NOTE Ce montage utilise une antenne de dipôle en tant qu'exemple pour représenter les configurations de source de *contrôle du système* et de mesure. Un montage identique ou équivalent s'applique à d'autres sources.

Figure D.1 – Montage d'essai pour le *contrôle du système*

Tout d'abord, le wattmètre PM1 (comportant un affaiblisseur Att1) est connecté au câble pour mesurer la puissance directe à la position du connecteur (X) à la source de *contrôle du système*. Le générateur de signal est réglé pour la puissance directe souhaitée au connecteur (en prenant en compte l'atténuation d'Att1) et lue par le wattmètre PM1 et également par l'intermédiaire du couplage d'Att2 à PM2. Après avoir connecté le câble à la source et positionné celui-ci au-dessous du fantôme, le générateur de signal est réglé à nouveau pour obtenir la même mesure enregistrée initialement sur le wattmètre PM2. Si le générateur de signal ne permet pas un ajustement par incréments de 0,01 dB, la différence résiduelle à PM2 doit être prise en compte (par exemple, par mise à l'échelle des valeurs de DAS mesurées en fonction de la différence de puissance à PM2).

L'adaptation de la source de *contrôle du système* doit être contrôlée en utilisant un analyseur de réseau (par exemple, pendant les intervalles de caractérisation des performances annuelles) pour assurer que la puissance réfléchie est au moins à 20 dB au-dessous de la puissance directe. Si une source différente est utilisée lorsqu'une plus grande désadaptation est inhérente à la conception de la source (par exemple, la source de guide d'ondes décrite à l'Article G.2), un affaiblissement de réflexion plus faible est acceptable uniquement s'il a été totalement caractérisé comme étant stable et que la puissance réfléchie est prise en compte pour déterminer la puissance nette transmise par la source de *contrôle du système* pour normaliser le DAS maximal moyenné mesuré. L'affaiblissement de réflexion spécifié doit être déterminé à la fréquence à laquelle le *contrôle du système* est effectué.

Les exigences relatives aux composants et à l'instrumentation sont les suivantes.

- Le générateur de signal et les sorties de l'amplificateur doivent être stables à moins de 2 % (après préchauffage). La puissance fournie au dipôle doit produire un DAS maximal moyenné d'au moins 0,4 W/g. La plage du DAS maximal moyenné pour 1 g ou 10 g s'étend de 0,4 W/kg à 10 W/kg. Si le générateur de signal peut délivrer 15 dBm ou plus, un amplificateur n'est généralement pas nécessaire s'il est connecté au dipôle avec un câble à faible perte. Certains amplificateurs de forte puissance ne doivent pas fonctionner à un niveau très inférieur à leur puissance maximale de sortie. Par exemple, un amplificateur de puissance de 100 W fonctionnant avec une puissance de sortie de 250 mW peut générer trop de bruit. Un affaiblisseur entre le générateur de signal et l'amplificateur est recommandé pour protéger l'entrée de l'amplificateur.
- Le filtre passe-bas inséré après l'amplificateur réduit l'effet des harmoniques et du bruit de l'amplificateur. Pour la plupart des amplificateurs en fonctionnement normal, le filtre n'est pas nécessaire.
- L'affaiblisseur placé après l'amplificateur améliore l'adaptation de la source et l'exactitude du capteur de puissance (consulter le manuel du wattmètre).
- Le coupleur directif (coefficient de couplage recommandé –20 dB) est utilisé pour contrôler la puissance directe et régler la sortie du générateur de signal pour une puissance directe constante à PM2. Le coupleur doit avoir un affaiblissement de réflexion

supérieur à 25 dB aux ports d'entrée et de sortie. Un coupleur bidirectionnel est nécessaire lorsqu'une puissance directe et réfléchie doit être mesurée, par exemple, lorsque des guides d'onde sont utilisés.

- e) Le wattmètre PM2 doit avoir une faible dérive et une résolution de 0,01 dBm. Sinon, l'exactitude absolue a un impact négligeable sur le réglage de puissance au dipôle.
- f) Le wattmètre PM1 et l'affaiblisseur Att1 doivent être des composants de haute qualité. Ils doivent être étalonnés, de préférence ensemble. L'affaiblisseur (–10 dB) améliore l'exactitude de la lecture de puissance (certaines têtes de haute puissance comportent un affaiblisseur incorporé étalonné). L'atténuation exacte de l'affaiblisseur à la fréquence d'essai doit être connue. Pour certains affaiblisseurs, cette atténuation peut varier de $\pm 0,2$ dB par rapport à la valeur spécifiée sur la bande de fréquences de fonctionnement.
- g) Un niveau de puissance fixe doit être utilisé pour PM1 et PM2 afin d'éviter les incertitudes de commutation de plage et de linéarité pour des mesurages de puissance. Si le niveau de puissance est ajusté, le même réglage de niveau de puissance doit être utilisé pour PM1 et PM2.
- h) La source de *contrôle du système* doit être raccordée directement au câble à la position "X". Si le wattmètre a un type de connecteur différent, des adaptateurs de haute qualité doivent être utilisés.
- i) La perte d'insertion des câbles, en particulier le câble qui relie le coupleur directif à l'antenne, doit être contrôlée périodiquement pour assurer que la perte d'insertion est stable entre les fréquences. Il convient de considérer qu'un câble qui fonctionne bien à une fréquence donnée (par exemple, 900 MHz) ne fonctionne pas de façon équivalente à une fréquence différente (par exemple, 5 GHz). Pendant des mesurages de *contrôle du système*, tous les mouvements du câble doivent être évités étant donné que cela peut causer des modifications des caractéristiques de perte du câble et introduire des erreurs de DAS.

D.2.5 Procédure de *contrôle du système*

Le *contrôle du système* est un mesurage complet de DAS maximal moyenné pour 1 g et/ou 10 g. Le DAS maximal moyenné mesuré pour 1 g et/ou 10 g est normalisé à 1 W par la puissance d'entrée de la source de *contrôle du système* (puissance directe pour les dipôles et puissance nette pour les guides d'ondes) et comparé à la valeur cible de DAS maximal moyenné pour 1 g et/ou 10 g validée de façon numérique et expérimentale établie pour la source de *contrôle du système*.

Les valeurs cibles de *contrôle du système* ne doivent pas s'écarter de plus de ± 10 % des valeurs numériques cibles indiquées dans le Tableau D.1 ou le Tableau D.2. Si elles ne peuvent être maintenues pour les raisons décrites en D.2.1 pour des sources de fréquences plus élevées, la valeur mesurée de DAS maximal moyenné pour 1 g (ou 10 g) ne doit pas s'écarter de la valeur cible validée de DAS pour la source de *contrôle du système* (décrite en D.2.3) de plus que l'incertitude élargie pour la reproductibilité (Tableau 13) ou de ± 5 %, selon la valeur la moins élevée.

La valeur mesurée de DAS maximal moyenné pour 1 g (ou 10 g) ne doit pas s'écarter de plus de ± 10 % des valeurs numériques cibles (Tableau D.1 ou Tableau D.2). Si elle ne peut être maintenue pour les raisons décrites en D.2.1, la valeur mesurée de DAS maximal moyenné pour 1 g (ou 10 g) ne doit pas s'écarter de la valeur cible validée de DAS pour la source de *contrôle du système* (décrite en D.2.3) de plus que l'incertitude élargie pour la reproductibilité (Tableau 13) ou de ± 5 %, selon la valeur la moins élevée. La valeur cible validée de DAS pour le *contrôle du système* est évaluée au moins annuellement, comme expliqué à l'Article D.1.

D.3 Validation du système

D.3.1 Objet

La procédure de *validation du système* soumet à l'essai le système DAS en utilisant des dipôles et des guides d'ondes normalisés définis pour la présente Norme afin de vérifier l'exactitude de mesure et les performances de la sonde, les lectures électroniques et le logiciel du système. C'est une validation du système par rapport à toutes les spécifications de performances. Ce montage utilise un fantôme plan et une source de *validation du système* définie à l'Annexe G. Par conséquent, cette procédure de validation ne comprend pas l'incertitude de dispersion de données et de positionnement du dispositif due au fantôme SAM anthropomorphe. La *validation du système* doit être effectuée au moins annuellement, lorsqu'un nouveau système est mis en service ou chaque fois qu'une modification a été apportée au système, telle qu'une mise à jour de logiciel, l'utilisation d'une lecture électronique différente ou de types de sondes différents et après l'étalonnage de sonde. La *validation du système* doit être effectuée avec une sonde étalonnée.

L'objectif de l'Article D.3 est de présenter une méthodologie pour la *validation du système* de mesure de DAS. Étant donné que l'équipement de mesure de DAS, les techniques d'étalonnage, les fantômes et les liquides équivalents aux tissus de la tête peuvent varier d'un laboratoire à un autre, une méthodologie de validation est nécessaire pour assurer que des résultats uniformes peuvent être obtenus conformément aux procédures de mesure et aux exigences d'incertitude de mesure définies. Les valeurs de DAS cibles calculées numériquement pour les sources de *validation du système* définies à l'Annexe G sont répertoriées dans le Tableau D.1 et le Tableau D.2. Les exigences environnementales pour les essais de *validation du système* sont telles que spécifiées en 5.1.

D.3.2 Montage du fantôme

Le montage du fantôme plan décrit pour le *contrôle du système* (voir D.2.2 et Figure D.1) est également utilisé pour les essais de *validation du système*. La *validation du système* doit être effectuée en utilisant des liquides équivalents aux tissus de la tête ayant les propriétés diélectriques définies au Tableau A.3.

D.3.3 Sources de validation du système

Deux types de sources de *validation du système* sont définis: les dipôles normalisés et une source de guide d'ondes normalisé (tous deux décrits à l'Annexe G).

Lorsque des dipôles sont utilisés, le fantôme doit être exposé en utilisant un dipôle normalisé spécifié à l'Article G.1 pour la fréquence exigée. Le dipôle doit être positionné au-dessous du fantôme plan et centré avec son axe parallèle au plus grand côté du fantôme. Il convient d'utiliser un écarteur à faible perte et faible constante diélectrique pour établir la distance correcte entre la surface supérieure du dipôle de référence et la surface inférieure du fantôme. Au-dessous de 3 GHz, l'écarteur ne doit pas modifier les valeurs de DAS maximal moyenné mesuré pour 1 g et 10 g de plus de 1 %, comparé à l'état sans écarteur. Au-dessus de 3 GHz, l'écarteur peut affecter le DAS mesuré et introduire des écarts par rapport aux valeurs numériques cibles du Tableau D.1; par conséquent, des valeurs cibles de DAS validées de façon expérimentale avec des écarteurs spécifiques doivent être utilisées (voir le premier alinéa en bas du Tableau D.1). La distance entre la surface du liquide et le centre du dipôle de référence (appelée s à la Figure D.1) doit être à $\pm 0,2$ mm de la distance exigée pour chaque fréquence d'essai. Le dipôle de référence doit avoir un affaiblissement de réflexion supérieur à 20 dB (mesuré dans les conditions de mesure de *validation du système*) à la fréquence d'essai afin de réduire la réflexion de puissance et l'incertitude de mesure de DAS. Afin de satisfaire à cette exigence, il peut être nécessaire d'ajuster les dipôles normalisés en utilisant des éléments de réglage en matériau diélectrique à faible perte ou métallique à l'extrémité du dipôle.

Pour les dipôles normalisés décrits à l'Article G.1, la distance de séparation s est donnée par: