

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Reflectivity of electromagnetic wave absorbers in millimetre wave frequency –
Measurement methods**

**Réflectivité des absorbeurs d'ondes électromagnétiques dans la plage des
fréquences des ondes millimétriques – Méthodes de mesure**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Reflectivity of electromagnetic wave absorbers in millimetre wave frequency –
Measurement methods**

**Réflectivité des absorbeurs d'ondes électromagnétiques dans la plage des
fréquences des ondes millimétriques – Méthodes de mesure**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 17.120; 19.080; 29.120.10

ISBN 978-2-88912-802-0

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and acronyms	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Acronyms and symbols.....	10
4 Specimen	12
4.1 Specimen specification.....	12
4.2 Reference metal plate	12
4.2.1 Material and thickness.....	12
4.2.2 Surface roughness	12
4.2.3 Flatness	12
4.2.4 Size and shape.....	12
4.3 Reference specimen for calibration	12
5 Specimen holder	13
6 Measurement equipment	13
6.1 Type of network analyzer	13
6.2 Antenna	13
6.2.1 Horn antenna.....	13
6.2.2 Lens antenna.....	13
6.3 Amplifier.....	13
6.4 Cable	14
7 Measurement condition	14
7.1 Temperature and environment.....	14
7.2 Warming up of measurement equipment.....	14
7.3 Electromagnetic environment	14
8 Calibration of measurement system and measurement conditions	14
8.1 Calibration of measurement system.....	14
8.2 Measurement conditions.....	14
8.2.1 Dynamic range	14
8.2.2 Setting up of the network analyzer for keeping adequate dynamic range.....	14
9 Horn antenna method	15
9.1 Measurement system	15
9.1.1 Configuration of the measurement system	15
9.1.2 Horn antenna.....	16
9.1.3 Specimen holder.....	16
9.1.4 Mounting of the specimen.....	18
9.1.5 Antenna stand	18
9.2 Measurement conditions.....	18
9.2.1 Measurement environment	18
9.2.2 Measuring distance	18
9.2.3 Size of specimen	18
9.3 Measurement procedures	19
10 Dielectric lens antenna method – focused beam method	20
10.1 Outline	20

10.2	Measurement system	20
10.2.1	Transmitting and receiving antennas	20
10.2.2	Focused beam horn antenna	21
10.2.3	Specimen size	22
10.2.4	Reference metal plate size	22
10.2.5	Specimen holder	22
10.2.6	Method of fixing the specimen and the reference metal plate	23
10.3	Measurement procedures	23
11	Dielectric lens antenna method – parallel beam method	25
11.1	Principle	25
11.1.1	Outline	25
11.1.2	Parallel EM wave beam formed using a EM wave lens	25
11.2	Measurement system	26
11.2.1	Composition of measurement system	26
11.2.2	Dielectric lens antenna	29
11.3	Specimen	29
11.3.1	General	29
11.3.2	Reference metal plate	29
11.3.3	Size of specimen	30
11.4	Measurement procedures	30
11.4.1	Normal incidence	30
11.4.2	Oblique Incidence	30
12	Test report	31
Annex A (informative)	Reflection and scattering from metal plate – Horn antenna method	33
Annex B (informative)	Reflectivity of reference specimens using horn antenna method	38
Annex C (informative)	Specifications of commercially available antennas	39
Annex D (normative)	Calibration using VNA	42
Annex E (informative)	Dynamic range and measurement errors	50
Annex F (informative)	Enlargement of dynamic range – Calibration by isolation	52
Annex G (informative)	Relative permittivity of styrofoam and foamed polyethylene based on foam ratio	53
Annex H (informative)	Calculation of Fraunhofer region – Horn antenna method	54
Figure 1	– Definition of reflectivity	10
Figure 2	– Configuration of the measurement system normal incidence (S_{11})	15
Figure 3	– Configuration of the measurement system oblique incidence (S_{21})	16
Figure 4	– Mounting method of specimen	17
Figure 5	– The mechanism of adjusting azimuth and elevation	17
Figure 6	– Measurement system for normal incidence (side view)	20
Figure 7	– Measurement system for oblique incidence (top view)	21
Figure 8	– Structure of a dielectric lens antenna	22
Figure 9	– Structure of specimen holder	23
Figure 10	– EM wave propagation using a horn antenna and a dielectric lens	26
Figure 11	– Block diagram of the measurement system	27
Figure 12	– A measurement system for normal incidence	28

Figure 13 – Measurement system for oblique incidence	28
Figure 14 – Position of a shielding plate	29
Figure 15 – Items to be mentioned in a test report	32
Figure A.1 – Reflection from the reference metal plate versus measurement distance between the antenna and the metal plate	33
Figure A.2 – Reflectivity of reference metal plate versus size	34
Figure A.3 – Reflectivity of reference metal plate at 40 GHz	35
Figure A.4 – Reflectivity of reference metal plate with cross section of 200 mm × 200 mm at 40 GHz	35
Figure A.5 – Analysis of reflection from a metal plate	37
Figure B.1 – Reflectivity of a 200 mm × 200 mm silica-glass plate in millimetre wave frequency	38
Figure C.1 – Representative specifications of a horn antenna	39
Figure C.2 – Structure of cylindrical horn antenna with dielectric lens in Table C.2, A used at 50 GHz - 75 GHz	40
Figure C.3 – A structure of dielectric lens and horn antenna in Table C.2, D	41
Figure D.1 – Measurement configuration for the case of normal incidence with a directional coupler connected directly to the horn antenna	42
Figure D.2 – Configuration for response calibration using a reference metal plate in the case of normal incidence	43
Figure D.3 – Configuration for response calibration using a reference metal plate in the case of oblique incidence	44
Figure D.4 – Configuration for response and isolation calibration in the case of normal incidence	45
Figure D.5 – Configuration for response and isolation calibration in the case of oblique incidence	45
Figure D.6 – Configuration for S_{11} 1-port full calibration in the case of normal incidence	46
Figure D.7 – Precision antenna positioner configuration	47
Figure D.8 – TRL calibration procedure	48
Figure D.9 – Measurement and TRL calibration of transmission line	49
Figure E.1 – An example of receiving level of a reference metal plate and that without a specimen	50
Figure E.2 – Dynamic range and measurement error of reflectivity	51
Figure F.1 – A method to remove spurious waves	52
Figure H.1 – Fraunhofer region and antenna gain	54
 Table 1 – Acronyms	 11
Table 2 – Symbols	11
Table C.1 – Antenna gain 24 dB (example A)	39
Table C.2 – Some specifications of antennas with dielectric lenses	40
Table G.1 – Relative permittivity and foam ratio of styrofoam	53
Table G.2 – Relative permittivity and foam ratio of foamed polyethylene	53

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

REFLECTIVITY OF ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORBERS IN MILLIMETRE WAVE FREQUENCY – MEASUREMENT METHODS

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 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 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 damages 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 62431 has been prepared by subcommittee SC46F: RF and microwave passive components, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, R.F. and microwave passive components and accessories.

IEC 62431 replaces and cancels IEC/PAS 62431 with corrections of obvious errors as noted in 46F/29A/RVN.

This bilingual version published in 2011-11, corresponds to the English version published in 2008-07.

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

CDV	Report on voting
46F/65/CDV	46F/72/RVC

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.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

REFLECTIVITY OF ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORBERS IN MILLIMETRE WAVE FREQUENCY – MEASUREMENT METHODS

1 Scope

This International Standard specifies the measurement methods for the reflectivity of electromagnetic wave absorbers (EMA) for the normal incident, oblique incident and each polarized wave in the millimetre-wave range. In addition, these methods are also equally effective for the reflectivity measurement of other materials:

- measurement frequency range: 30 GHz to 300 GHz;
- reflectivity: 0 dB to –50 dB;
- incident angle: 0° to 80°.

NOTE This standard is applicable not only to those EMA which are widely used as counter-measures against communication faults, radio interference etc. , but also to those used in an anechoic chamber in some cases. EMAs may be any kind of material, and may have any arbitrary shape, configuration, or layered structure as pointed out below.

Material: Conductive material, dielectric material, magnetic material.

Shape: planar-, pyramidal-, wedge-type, or other specific shapes.

Layer structure: single layer, multi layers, or graded-index material.

2 Normative references

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

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

3 Terms, definitions and acronyms

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

ambient level

the value of radiation power or noise which exists when no measurement is being carried out at the experiment site

3.1.2

associated equipment

an apparatus or product connected for convenience or operation of the equipment

3.1.3

beam diameter

the diameter where the electric field strength decreases by 3 dB from the centre of the focused beam

3.1.4

beam waist

the portion at which the diameter of the focused beam becomes minimum when the electromagnetic waves radiated from a transmit antenna are converged using a dielectric lens

3.1.5

beam waist diameter

beam diameter at the beam waist

3.1.6

bistatic measurement

measurement where the incident and reflection angle are equal

3.1.7

dielectric lens

electromagnetic wave lens that is composed of dielectric material

Usually, it is used by mounting in front of a pyramidal or conical horn.

3.1.8

directional gain

ratio of the radiated power density in a particular direction to the average power density that would be radiated in all directions

3.1.9

dynamic range

difference in decibels between the receiving level from the reference metal plate and the receiving level measured when the metal plate is removed

3.1.10

electromagnetic wave absorber

material ingredient which absorbs the electromagnetic wave energy and dissipates it thermally

3.1.11

focal distance

distance between the centre of the dielectric lens and the focal point

3.1.12

focal point

centre of the beam waist when the electromagnetic waves are converged using a dielectric lens

3.1.13

focused beam

focused electromagnetic wave converged by the dielectric lens mounted in front of the horn antenna

The focused beam diameter is a few times the wavelength or more at the beam waist, which depends on the focal distance of the lens.

3.1.14

fraunhofer region

region where the angular radiation pattern of an aperture antenna is nearly independent of the distance

3.1.15**free-space method**

measurement method that employs a single or pair of horn antennas where the specimen and the antennas are put in free space

3.1.16**fresnel region**

region where the angular radiation pattern of an aperture antenna depends on the distance except for the region extremely near to the aperture

3.1.17**horn antenna**

aperture antenna where impedance matching is taken gradually from the waveguide aperture to free space

3.1.18**monostatic measurement**

measurement where the incident and reflected waves follow the same direction and which lie at an arbitrary angle with respect to normal to the specimen surface

3.1.19**normal incidence**

the incidence for which an electromagnetic wave strikes to the specimen surface normally

The reflectivity in normal incidence is usually measured in the configuration where the incident angle of a transmitting antenna and that of a receiving antenna are within 0° to 5° with respect to the normal direction of the specimen surface.

3.1.20**oblique incidence**

the incidence for which an electromagnetic wave strikes to the specimen surface at an oblique angle

The reflectivity in oblique incidence is usually measured with a transmitting and receiving antenna set up so that the incident and reflected angle of EM wave may be equal.

3.1.21**parallel beam**

EM wave, which has a nearly flat phase front on the surface normal to the antenna axis, and which is formed using a dielectric lens set-up in front of a horn antenna

3.1.22**reference metal plate**

metal plate with the same shape and an equal surface projected area in normal to the specimen

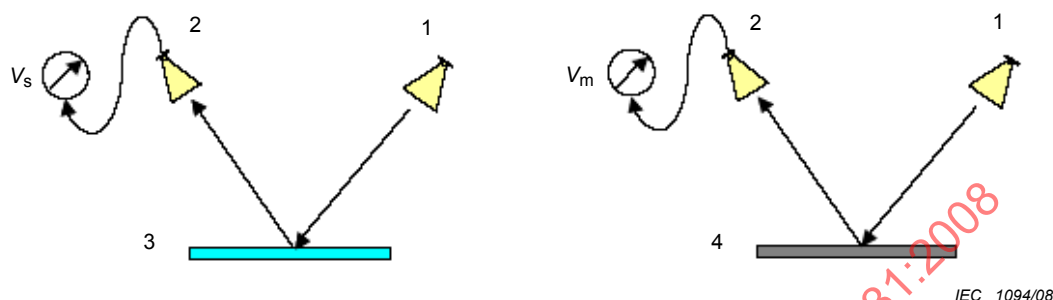
3.1.23**reflectivity**

the ratio between reflected EM wave voltage received by the receiving antenna when a specimen is irradiated by the EM wave, and the voltage of the EM wave reflected from a metal plate with equal size and with the same projection shape in normal to the specimen surface expressed in decibel by

$$\text{reflectivity} = 20 \log_{10} \left| \frac{V_s}{V_m} \right| = 20 \log_{10} |V_s| - 20 \log_{10} |V_m| \text{ [dB]} \quad (1)$$

where V_s is the reflected EM wave voltage received by the receiving antenna when a specimen is irradiated by the EM wave, and V_m is the voltage of the EM wave reflected from a

metal plate with equal size and with the same projection shape in normal to the specimen surface. See Figure 1.



Key

- 1 Tx antenna
- 2 Rx antenna
- 3 EMA
- 4 Metal plate

Figure 1 – Definition of reflectivity

3.1.24

time domain function

a function that is implemented in VNA to transform the measured frequency domain data to time evolution data using inverse Fourier transform because the VNA can measure both the amplitude and phase of EM wave

Using this function, the reflected wave only from the specimen can be extracted by applying a suitable time gating to the time evolution output signal and Fourier transform.

3.1.25

transverse electric wave

TE wave

EM wave in which the electric field is perpendicular to the plane of incidence when the EM wave is incident to the specimen surface at an oblique angle

3.1.26

transverse electromagnetic wave

TEM wave

EM wave in which both the electric and magnetic fields are perpendicular to the direction of incidence when an EM wave is incident normally to the specimen surface

3.1.27

transverse magnetic wave

TM wave

EM wave in which the magnetic field is perpendicular to the plane of incidence when the EM wave is incident to the specimen surface at an oblique angle

3.2 Acronyms and symbols

The acronyms and symbols are shown in Table 1 and Table 2.

Table 1 – Acronyms

Acronyms	
CW	Continuous wave
EMA	Electromagnetic wave absorber
FFT	Fast Fourier transformation
IF	Intermediate frequency
NWA	Network analyzer
PTFE	Polytetrafluorethylene
SNA	Scalar network analyzer
TE	Transverse electric
TEM	Transverse electromagnetic
TM	Transverse magnetic
TRL	Thru-reflect-line
VNA	Vector network analyzer
VSWR	Voltage standing wave ratio

Table 2 – Symbols

Symbol	Meaning
A	A half size of the aperture of an ideal absorber wall (a half side of metal plate with squared shape (Annex A))
a	Longer side size at aperture of pyramidal horn antenna
b	Shorter side size at the aperture of a pyramidal horn antenna
c	Length of pyramidal horn antenna
$C(x)$	Fresnel integral
D	Diameter of the aperture of a conical horn antenna
d_1	Distance from mirror image of transmit antenna to the aperture of ideal absorber wall
d_2	Distance from the aperture of an ideal absorber wall to receiving antenna
D_m	Effective maximum dimension of the antenna aperture
E_0	Electric field strength at the position of an ideal absorber (Annex A)
E_r	Receiving electric field strength in the case that an ideal absorber has a square-shaped aperture with size $2a$ (Annex A)
E_{s0}	Receiving electric field strength in the case that ideal absorber is not put (Annex A)
G_d	Directional gain of horn antenna
R	Distance from the aperture of horn antenna to the specimen
R_a	Receiving level in the case that the test specimen is put on the specimen holder (dB)
R_m	Receiving level in the case that the reference metal plate is put on the specimen holder (dB)
S_{11}	Reflection coefficient
S_{21}	Transmission coefficient
$S(x)$	Fresnel integral
V_a	Receiving voltage in the case that the test specimen is put on the specimen holder
V_d	Receiving voltage by direct wave from the transmitting and receiving antenna
V_m	Receiving voltage by the reflected wave from the metal plate with the same cross section and shape as the test specimen
V_r	Receiving voltage by the reflected wave except for the test specimen

Table 2 (continued)

Symbol	Meaning
V_s	Receiving voltage by the reflected wave only from the test specimen
β	Phase constant ($=2\pi/\lambda$)
Γ_a	Receiving level in the case that the electromagnetic absorber is put on the specimen holder (vector quantity)
Γ_m	Receiving level in the case that the reference metal plate is put on the specimen holder (vector quantity)
Γ_r	Receiving level in the case that the test specimen is not put on the specimen holder (vector quantity)
ϵ_r'	Real part of relative permittivity
θ	Incident angle of electromagnetic wave
λ	Wavelength of electromagnetic wave in free-space

4 Specimen

4.1 Specimen specification

It is recommended that the specimen have a flat surface and rigid structure having a dimension equal to or larger than $10 \lambda_l$, where λ_l is the wavelength of the EM wave at the lowest frequency in the measurement frequency range. However, detailed specifications are given in each type of the three measurement methods described in Clauses 9, 10, and 11.

4.2 Reference metal plate

4.2.1 Material and thickness

Aluminium, copper, stainless steel or other metal, which has thickness of about 1 mm to 2 mm, is preferred.

4.2.2 Surface roughness

The surface roughness of a reference metal plate should be less than $\lambda_m/10$, although less than $\lambda_m/20$ is preferred, where λ_m is the wavelength that corresponds to maximum frequency in the measurement frequencies range. For example, if the maximum frequency is 300 GHz, then λ is 1 mm, and the preferable roughness becomes 0,05 mm.

4.2.3 Flatness

It is recommended that the flatness be less than 0,5 mm for a reference metal plate with size $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

4.2.4 Size and shape

The reference metal plate should have the same size and same projection shape normal to the specimen surface. However, it is desirable to use the size specified by each method in Clauses 9, 10, and 11. Care should be taken in selecting the size of the reference metal plate because the reflection and scattering characteristics may depend on its size due to the Fresnel refraction. The dependence of the reflection and scattering characteristics on the size in the case of the horn antenna method is illustrated in Annex A.

4.3 Reference specimen for calibration

The reference specimen for calibration should be silica-glass plate or sapphire single crystal (001) plate with uniform thickness and smooth surface roughness. Relative permittivity should

be known in advance. When dielectric material is selected, it is necessary to measure the reflectivity of the specimen without putting anything on the backward surface of the reference specimen. The reference specimen should be fixed by a material such as foamed plastics, which has relative permittivity near to 1, and in which EM waves do not reflect like they do in free space. It is recommended to verify the accuracy of the measurement system by comparing the measured reflectivity with the theoretical one. The reflectivity of a silica-glass plate measured in the millimetre wave range is given in Annex B.

5 Specimen holder

A specimen holder might be different by the any type of measurement method mentioned in Clauses 9, 10, and 11. It should be recommended that the specimen holder possess functions for adjusting azimuth and elevation.

6 Measurement equipment

The equipment must be calibrated according to the procedure established by the manufacturers, or calibration laboratories accredited by ISO/IEC 17025. The items to be calibrated include frequency, voltage, and attenuation, which depend on the measurement accuracy or uncertainty of the measurement apparatuses. Correct usage of the measurement equipment is very important in order to obtain the exact results. The measurement of the reflectivity of EMA shall be performed using either a VNA or SNA. When there are discrepancies in the measured results, it is necessary to make calibration of the measurement system using a reference specimen. Various necessary apparatuses should be selected according to the type of used measurement methods as shown below.

6.1 Type of network analyzer

The VNA is recommended because it can measure both the magnitude and phase of S_{11} and S_{21} and it has a time domain function.

The SNA can measure only the magnitude of S_{11} and S_{21} .

6.2 Antenna

6.2.1 Horn antenna

Both a commercial as well as an in-built horn antenna can be used for the reflectivity measurement of EMA except in special cases. However, the commercial horn antenna is recommended in order to obtain the required measurement accuracy, which has an accurate gain, VSWR, and size. The commercial coaxial-waveguide transducer is also recommended where the VSWR or sizes are verified in each frequency band. The specifications of some commercial horn antennas are shown in Annex C.

6.2.2 Lens antenna

Not only a dielectric lens antenna but also a metal plate lens antenna or Luneberg lens antenna can also be used for the reflectivity measurement of EMA in this standard. Either a commercially available or an in-built product can also be applicable. However, the use of a commercial lens antenna, in which antenna gain, VSWR, and sizes are specified, will be recommended in order to realize the required measurement accuracy. The specifications of commercial horn antennas and dielectric lenses are illustrated in Annex C.

6.3 Amplifier

An amplifier is generally used in order to get a sufficient dynamic range for the measurement system. The warming up of the amplifier is required and the temperature should be kept as

constant as possible because the total gain of the amplifier will vary due to the temperature drift as it is described in Clause 7.

6.4 Cable

Degradation in transmission characteristics of cables must be checked in the measurement frequency range when the cables are connected directly.

7 Measurement condition

7.1 Temperature and environment

The measurement should be carried out in the atmosphere from 860 hPa to 1 060 hPa, and in the room from 5 °C to 35 °C, and relative humidity from 45 % to 85 %. If the operation temperature and humidity range of the measurement apparatuses are narrower than the above range, the specifications of the measurement apparatuses should be followed. It is desirable to control the measurement temperature within ± 3 °C in order to suppress the influence of the temperature drift of measurement apparatuses to a minimum. The measurement temperature or humidity of the specimen should be specified when the reflectivity depends on temperature or humidity.

7.2 Warming up of measurement equipment

The warming-up time, typically from 15 min to 45 min, must be written in the specifications of the measurement equipment or systems. Moreover, the warming up time should be taken to be longest among all of the measurement equipment.

7.3 Electromagnetic environment

When the EM wave power density in the measurement environment exceeds that specified in public regulations, and when the EM environment is judged to be negative, the measurement should be carried out in an anechoic room. When the directional gain of an antenna is large, however, an anechoic chamber may not necessarily be required.

8 Calibration of measurement system and measurement conditions

8.1 Calibration of measurement system

Calibration of the measurement system must be carried out according to the recommended methods by NWA. Typical calibration methods are shown in Annex D. If the temperature at which the measurement system is calibrated is within ± 3 °C of the measurement temperature, measurement errors can be minimized. However, if the measurement temperature is outside of the range of ± 3 °C, then it is recommended to carry out the calibration again.

8.2 Measurement conditions

8.2.1 Dynamic range

Both the receiving levels with and without the reference metal plate must be measured initially when the measurement system is set up. Dynamic range is defined as the difference of these measured values in decibels. Annex E illustrates the relation between the dynamic range and the measurement error. If the dynamic range of the measurement system is 40 dB and reflectivity of specimen is –20 dB, an error bar lies from –0,92 dB to +0,83 dB.

8.2.2 Setting up of the network analyzer for keeping adequate dynamic range

The dynamic range of the measurement system can be increased by modifying the IF band or by utilizing the averaging function of NWA when the dynamic range does not exceed a

necessary value. The dynamic range increases by use of the isolation calibration of the VNA as shown in Annex F.

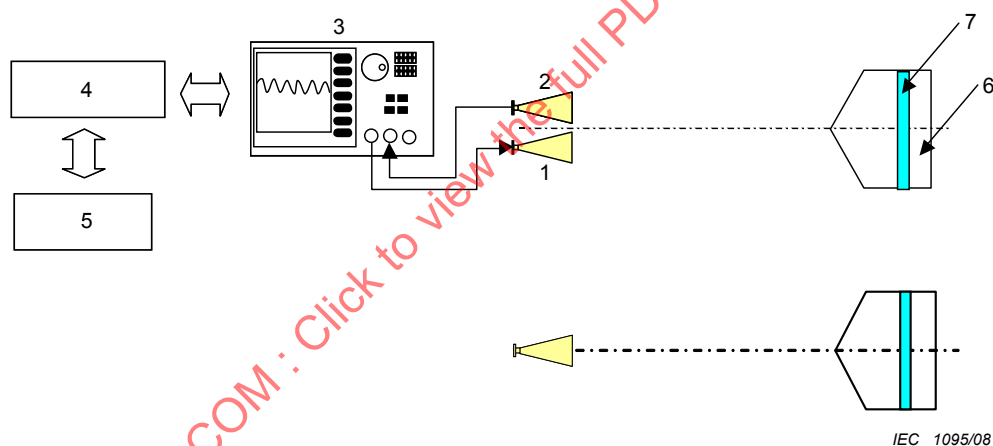
9 Horn antenna method

9.1 Measurement system

9.1.1 Configuration of the measurement system

Figure 2 and Figure 3 show a block diagram of the measurement system. The arrangement of transmitting and receiving antennas, and the block diagram of the measurement system in the horn antenna method are illustrated below for normal and oblique incidence measurement. For measuring the transmission coefficient S_{21} , a pair of antennas is used, whereas only one antenna is used for measuring the reflection coefficient S_{11} in normal incidence.

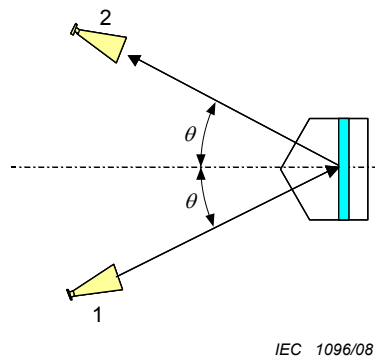
For the case of oblique incidence, transmitting antenna should be arranged in such a way that the central axis makes the same angle to the normal direction of the specimen surface with that of receiving antenna. Here, if S_{21} is measured using two horn antennas in normal incidence, then the vertical alignment of transmitting and receiving antennas should be fixed within 5° . The measurement equipment including a NWA is given in Clause 6.



Key

- 1 Tx antenna
- 2 Rx antenna
- 3 VNA/SNA
- 4 Computer
- 5 Printer
- 6 Specimen holder
- 7 Specimen

Figure 2 – Configuration of the measurement system normal incidence (S_{11})



Key

- 1 Tx antenna
- 2 Rx antenna

**Figure 3 – Configuration of the measurement system
oblique incidence (S_{21})**

9.1.2 Horn antenna

Both a commercial as well as an in-built horn antenna can be used for the reflectivity measurement of EMA except in special cases. Before measuring the reflectivity, it is necessary to calculate the directional gain of the horn antenna to determine the distance from the antenna to the specimen. The directional gain, VSWR and sizes must be checked from the catalogue when a commercial horn antenna is used.

9.1.3 Specimen holder

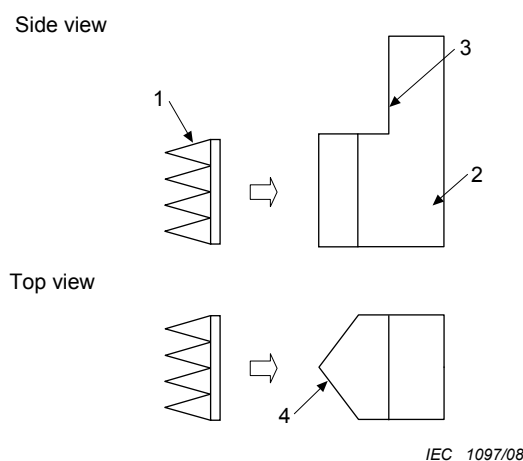
9.1.3.1 Material and shape

9.1.3.1.1 Material

The reflection of the EM wave from the specimen holder can be minimized by making use of foamed polystyrene with a high foaming ratio as a specimen holder, because foamed plastics have a very low relative permittivity (near 1). Annex G shows relative permittivity of foamed polystyrene as a function of the foaming ratio.

9.1.3.1.2 Shape

The shape in normal projection to the specimen surface and the area of a specimen holder which mounts a specimen should be equal to those of the specimen in order to suppress the reflection of the EM wave from the specimen holder. The uncovered portion of the specimen holder should be covered by a pyramidal-type wave absorber, and the shape of the uncovered portion should have a wedge form as Illustrated in Figure 4.



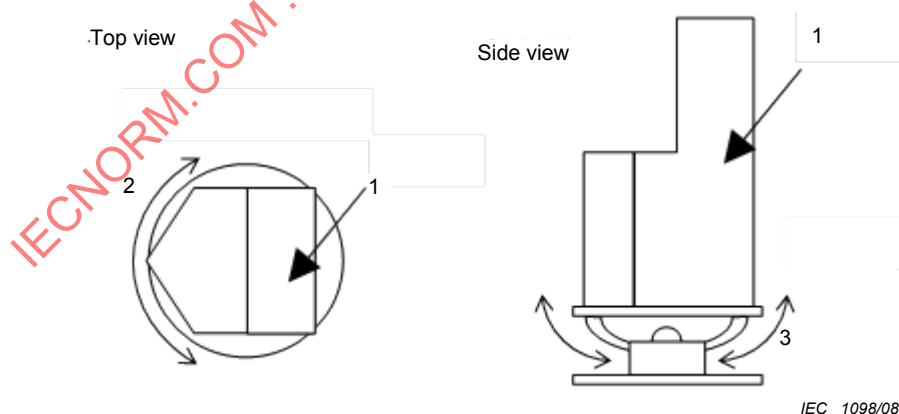
Key

- 1 Pyramidal EMA
- 2 Specimen holder
- 3 Mounting point of specimen
- 4 Wedge form

Figure 4 – Mounting method of specimen

9.1.3.2 Azimuth and elevation angle adjustment function

Figure 5 shows elevation angle adjustment as well as the lifting and descending mechanism. An azimuth table under the specimen holder, which has the mechanism adjusting the elevation and the azimuth angle, should be installed in order to enable the accurate installation of the specimen with respect to transmitting antenna. Accuracy of elevation and directional angle should be about $0,1^\circ$.



Key

- 1 Specimen holder
- 2 Azimuth angle adjustment function
- 3 Elevation angle adjustment function

Figure 5 – The mechanism of adjusting azimuth and elevation

9.1.4 Mounting of the specimen

Either double-sided adhesive tape, simple paste or thin cellophane tape is used to fix the reference metal plate and specimen to the specimen holder.

9.1.5 Antenna stand

Attention should be paid to covering up a stand by a pyramidal-type wave absorber, although the quality of the material of the stand that mounts a transmitting antenna does not necessarily have to be that of products fabricated from rosin or wood.

9.2 Measurement conditions

9.2.1 Measurement environment

The measurement should not necessarily be performed in an anechoic chamber, which depends on the directional gain of the antenna. However, it is required that there be no obstacle in the direction of the main beam of the horn antenna. If the obstacle cannot be removed, such as a screen of a pyramidal-type, EMAs must be installed on the path of the EM wave. When the oblique incidence characteristics are measured, the floor and roof should also be covered with the pyramidal-type EMA, because the reflected EM wave from them has the same path length as that from the specimen in many cases.

9.2.2 Measuring distance

When the EM waves are radiated from the rectangular aperture of a horn antenna, the distance, R , which separates Fresnel region from the Fraunhofer region, the boundary between the two may be arbitrarily taken to be at Equation (2), where D_m is an effective maximum dimension of the antenna aperture, and λ is the wavelength. The directional gain, G_d of the horn antenna is represented by Equation (3). From Equations (2) and (3), the range of R representing the Fraunhofer region can be expressed by Equation (4) using G_d .

$$R \geq 2D_m^2 / \lambda \quad (2)$$

$$G_d = 4\pi D_m^2 / \lambda^2 \quad (3)$$

$$R \geq G_d \lambda / 2\pi \quad (4)$$

It is desirable to keep the distance between the specimen and the antennas greater than the right hand side of Equation (4), which depends on the measurement frequency, and which becomes longest at the lower limit of the measurement frequency range. Annex H shows the relation between the directional gain of the antenna and the measuring distance.

9.2.3 Size of specimen

It is recommended that the size of the specimen should be larger than 100 mm × 100 mm for the reflectivity measurement using the horn antenna method. If the size of the specimen is smaller than 100 mm × 100 mm, a very accurate adjustment of azimuth and elevation angles should be done.

9.3 Measurement procedures

Measurement is carried out according to the following steps after installation of measurement equipment based upon the conditions described in Subclause 9.2.

a) Adjust the measurement system

- 1) Set up the transmitting and receiving antennas and specimen holder according to each measurement condition; normal or oblique incidence, distance between specimen and antennas, etc.
- 2) Set up the transmitting and receiving antennas in such a way that their heights will be at the centre of the specimen, and adjust the horn antenna so that the aperture may be perpendicular to the horizontal plane using a spirit level.
- 3) Set up the reference metal plate on the specimen holder, and adjust the elevation angle so that the reference metal plate may be perpendicular to the horizontal plane using a spirit level.
- 4) Set up the position and normal direction of the reference metal plate so that the receiving level of the scattered EM wave may become maximum by rotating the metal plate through $\pm 10^\circ$ of directional angle using an azimuth turn table.
- 5) Check the dynamic range of the measurement system. Measure the receiving level of the reference metal plate at the measurement frequency range. Remove the reference metal plate and measure the receiving level. Calculate the dynamic range, the difference of the two levels in decibel. Carry out the isolation calibration according to Subclause 8.2.2 when the desired dynamic range is not obtained.

b) Measurement using scalar network analyzer

- 1) Set up the reference metal plate on the specimen holder, and measure the receiving level, R_m (dB).
- 2) Replace the reference metal plate by the specimen on the specimen holder, and measure the receiving level, R_a (dB).
- 3) Calculate the reflectivity of specimen by subtracting the receiving level R_m (dB) from receiving level, R_a (dB).

c) Measurement using vector network analyzer

- 1) Set up the reference metal plate on the specimen holder. Measure the vector quantities of the receiving level, Γ_m .
- 2) Remove the reference metal plate from the specimen holder, and measure the receiving level, Γ_r , without the specimen.
- 3) Mount the specimen on the specimen holder, and measure the vector quantities of the receiving level, Γ_a .
- 4) Subtract the vector quantities of the receiving levels Γ_r from Γ_m , and subtract the undesired waves other than those reflected directly from the EMA.
- 5) Transform the vector quantities into time domain data from frequency domain data, and apply time gating for the main response from the EMA only.
- 6) After the time gating is applied, transform the responses into the frequency domain receiving level, R_m (dB), of the reference metal plate.
- 7) Subtract the vector quantities of the receiving level, Γ_r , from the vector quantities of the receiving level, Γ_a , of the specimen, and subtract the undesired waves.
- 8) Transform the obtained vector quantities into the time domain from the frequency domain data, and apply time gating for the main response only.
- 9) After the time gating is applied, these responses are retransformed into the frequency domain data, receiving level, R_a (dB), of the specimen.
- 10) Calculate the reflectivity of specimen by subtracting the receiving level, R_m (dB), of the reference metal plate from the receiving level, R_a (dB), of the specimen.

10 Dielectric lens antenna method – focused beam method

10.1 Outline

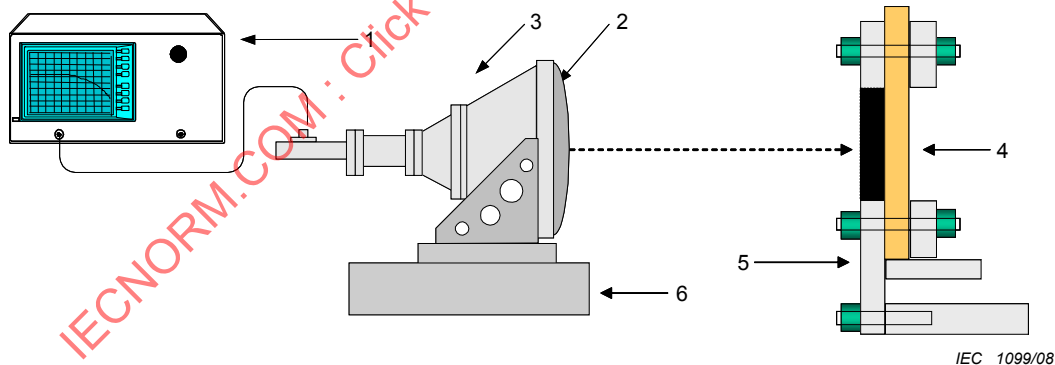
A method which uses a focused beam type horn antenna has the following characteristics.

- A large measurement space may not necessarily be required because the focused EM wave has a beam waist of several wavelengths and has a nearly flat phase-front on the focal plane.
- A sufficient dynamic range can be easily obtained because the EM wave does not spread over into the surroundings.
- The measurement can not necessarily be carried out in an anechoic chamber in cases where the large dynamic range is not required because the scattered EM waves in the surroundings cannot easily come to a receiving antenna.
- When the EMA is inhomogeneous, the reflectivity of the EMA may depend on the surface position, where the EM wave beam is incident, because the beam waist diameter of the focused EM wave is rather small, about $3\lambda - 5\lambda$, on the surface of the EMA.

10.2 Measurement system

10.2.1 Transmitting and receiving antennas

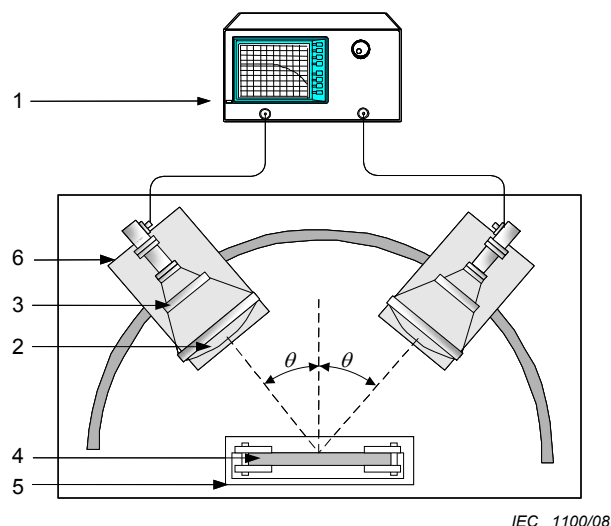
A block diagram of the measurement system is shown in Figure 6 and Figure 7. Figure 6 and Figure 7 show the measurement system for normal incidence (side view), and oblique incidence (top view), respectively. In the case of normal incidence, the reflection coefficient S_{11} is measured using only one antenna. In the case of oblique incidence, the transmitting and receiving antennas are mounted so that the incident and reflection angle of the EM wave is equal ($=\theta$) with respect to the normal to the specimen. In order to remove the spurious reflection signals which do not come from the specimen, it is desirable to use a VNA with time domain and time gating functions.



Key

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 VNA | 4 Specimen |
| 2 Dielectric lens | 5 Specimen holder |
| 3 Horn antenna | 6 Antenna holder |

Figure 6 – Measurement system for normal incidence (side view)



Key

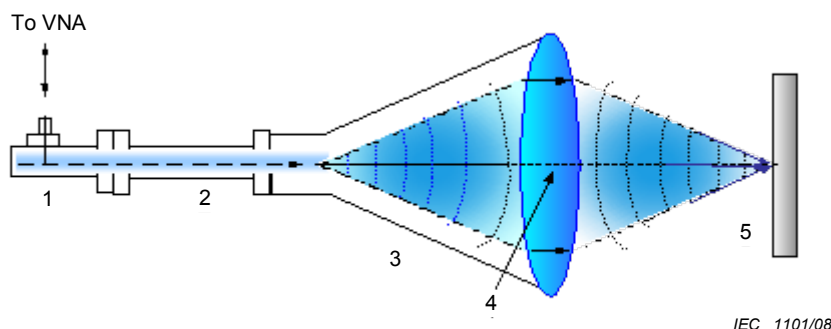
- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 VNA | 4 Specimen |
| 2 Dielectric lens | 5 Specimen holder |
| 3 Horn antenna | 6 Antenna holder |

Figure 7 – Measurement system for oblique incidence (top view)

10.2.2 Focused beam horn antenna

10.2.2.1 Antenna structure

Figure 8 shows the structure of an antenna with a dielectric lens used in the focused beam method which is composed of a coaxial-waveguide transducer, a mode conversion feed that converts a linearly-polarized EM wave to a circularly-polarized one, circular horns, and convex-type dielectric lens. The EM waves radiated from the antenna gradually converge at the focus, where the minimum beam waist of the EM wave becomes several wavelengths. The focal length is determined by both curvature of a convex-type dielectric lens and the relative permittivity of the lens material. The amplitude of the EM wave at the beam waist changes as Gaussian as a function of the radial distance away from the central axis of the lens, which takes maximum at the centre of the focus. The phase at the focus does not depend so strongly on the radial distance because both the path (electric length) that is transmitted through the centre of the lens and the path (electric length) that is transmitted through the peripheral part of the lens are nearly equal. Some specifications of a commercial dielectric lens antenna, such as diameter, focal length, and lens material etc., are shown in Annex C, Clause C.2.



Key

- 1 Coaxial-waveguide transducer
- 2 Mode converter
- 3 Horn antenna
- 4 Dielectric lens
- 5 Specimen

Figure 8 – Structure of a dielectric lens antenna

10.2.2.2 Measurement range

A different coaxial-waveguide transducer and a different rectangular-circular mode conversion feed must be prepared for the different frequency band in Figure 8.

10.2.2.3 Antenna positioner

An antenna positioner must be prepared for accurate measurement of normal or oblique incidence, which enables the transmitting and receiving antennas to be moved along the central axis and the moved distance to be measured accurately. Moreover, an antenna holder should have a function so that the incident angle of the EM wave may be varied with respect to the normal direction of the specimen surface.

10.2.3 Specimen size

Each length of the specimen sides should be at least larger than 3 times the diameter of the largest beam waist at the lowest frequency of the measuring frequency range.

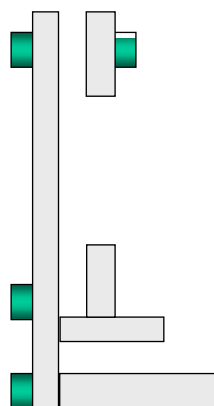
10.2.4 Reference metal plate size

The reference metal plate should have the same area and shape in normal projection to specimen surface.

10.2.5 Specimen holder

10.2.5.1 Material and size

A specimen holder is illustrated in Figure 9. The specimen holder is made of a resinous material, polycarbonate plastics, which has a relatively low permittivity near 1 and does not reflect EM waves as strongly at the holder surface. The specimen holder should have a rigid structure without any swing or vibration. In the case of normal incidence, the size should be larger than 3 times the beam waist, and preferably as large as possible. Therefore a structure able to set a large or small specimen is preferred. In the case of oblique incidence angle θ , the size of the specimen holder is made larger than in normal incidence, because the irradiated specimen surface area becomes larger than in normal incidence by $1/\cos\theta$.



Key

- 1 Specimen
- 2 Poly-carbonate frame
- 3 Poly-carbonate screw and nut

Figure 9 – Structure of specimen holder

10.2.5.2 Adjustment of azimuth and elevation angle

To install the specimen accurately, a specimen holder should have a function to manipulate the elevation and azimuth angles. Azimuth and elevation angles are adjusted to the most appropriate values so that the receiving level may become maximal after a reference metal plate is put instead of the specimen.

10.2.6 Method of fixing the specimen and the reference metal plate

The four sides of the specimen or the reference metal plate should be tightly fixed on the specimen holder so that bending may not occur.

10.3 Measurement procedures

Measurement is carried out according to the following steps after installation of measurement equipment based upon the conditions described in Subclause 9.2.

a) Adjust the measurement system

- 1) Set the position of the specimen holder properly such that the specimen surface is just at the focal point of a dielectric lens antenna.
- 2) Other adjustments of the measurement system are performed according to Subclause 9.3.1.

b) Measurement using vector network analyzer

- 1) Set up the VNA so as to measure S_{11} for normal incidence measurement and S_{21} for oblique incidence measurement.
- 2) Set up the reference metal plate on the specimen holder. Measure the vector quantities of the receiving level, Γ_m .

- 3) Remove the reference metal plate from the specimen holder, and measure the receiving level, Γ_r , without the specimen.
 - 4) Subtract the vector quantities of the receiving levels Γ_r from Γ_m , and subtract the undesired waves other than those reflected directly from the reference metal plate.
 - 5) Transform the vector quantities into time domain data from frequency domain data, and apply time gating for the main response from the reference metal plate only.
 - 6) After the time gating is applied, transform the responses into the frequency domain receiving level, R_m (dB), of the reference metal plate.
 - 7) Mount the specimen on the specimen holder, and measure the vector quantities of the receiving level, Γ_a .
 - 8) Remove the specimen from the specimen holder, and measure the vector quantities of the receiving level, Γ_r .
 - 9) Subtract the vector quantities of receiving level, Γ_r , from the vector quantities of the receiving level, Γ_a , of the specimen, and subtract the undesired waves.
 - 10) Transform the obtained vector quantities into the time domain from the frequency domain data, and apply time gating for the main response only.
 - 11) After the time gating is applied, these responses are retransformed to the frequency domain data, receiving level, R_a (dB), of the specimen.
 - 12) Calculate the reflectivity of the specimen by subtracting the receiving level, R_m (dB), of the reference metal plate from the receiving level, R_a (dB), of specimen.
- c) Measurement using a vector network analyzer and its calibration function
- Types and details of calibration of NWA are described in Annex D.
- 1) Set up the VNA so as to measure S_{11} for normal incidence measurement and S_{21} for oblique incidence measurement.
 - 2) Select the type of calibration, “ S_{11} reflection response and isolation calibration” for S_{11} mode, and “ S_{21} transmission response and isolation calibration” or “ S_{21} transmission response calibration” for S_{21} mode. For S_{21} mode, the undesired waves are generally low that “ S_{21} transmission response calibration”, which does not include isolation calibration, can be selected. In such a case, the step d) is omitted.
 - 3) Set up the reference metal plate on the specimen holder. Measure the vector quantities of the receiving level, Γ_m . For S_{11} mode, the VNA is calibrated with “Short”, and for S_{21} mode, the NWA is calibrated with “Thru”.
 - 4) Remove the reference metal plate on the specimen holder. Measure the vector quantities of the receiving level, Γ_r , in the case that there is no specimen on the holder. For both S_{11} and S_{21} mode, the NWA is calibrated with “Isolation”.
 - 5) Finish a series of calibrations by making the calibration function of the VNA become active.
 - 6) Set up the specimen on the specimen holder, and measure the receiving level.
 - 7) Transform the obtained vector quantities of f) into the time domain from frequency domain data, and apply time gating for the main response only.
 - 8) After the time gating is applied, these responses are retransformed to the frequency domain data, receiving level, R_a (dB), of the specimen.

11 Dielectric lens antenna method – parallel beam method

11.1 Principle

11.1.1 Outline

In the parallel beam method, the EM wave, radiated from the transmitting antenna, is deflected to be a parallel beam using a dielectric EM wave lens and the transmitted wave is incident on the specimen. The reflected EM wave level is measured using a horn antenna after being transmitted through a dielectric lens.

This method has the following characteristics.

- a) A large measurement room is not usually required because the spherical equi-phase front of the EM wave from a horn antenna can be converted to a quasi-plane phase front near the focal point.
- b) An anechoic chamber is not always necessary, because enough of a dynamic range is generally achieved, since the EM waves scattered into the surrounding cannot easily invade the receiving ports.
- c) In oblique incidence, it is possible to make a measurement at a large incident angle, because the EM wave beam is quasi-paralleled by the dielectric lens.

11.1.2 Parallel EM wave beam formed using a EM wave lens

The wavelength of the millimetre wave, several mm, is generally far smaller than the distance between the antenna and the specimen. An EM wave lens can be realized similarly to an optical lens based upon the ray theory. There exist a dielectric lens, a metal plate lens etc., as typical EM wave lenses. Figure 10 shows the effect of using a dielectric lens. The secondary phase error on the specimen surface can be compensated, and an EM wave with planer equi-phase front and high energy density can be obtained, hereafter called parallel beam, if a dielectric lens is put in front of a horn antenna. If a dielectric lens is used, side-lobes are suppressed due to the low radiation power on the end portion of a dielectric lens. The horn antenna with a dielectric lens has the following characteristics.

- a) Side lobes can be suppressed because there is no obstacle on the forward direction between a horn antenna and a dielectric lens.
- b) Reflection from a lens can be easily reduced by coating the lens surface with anti-reflection film.

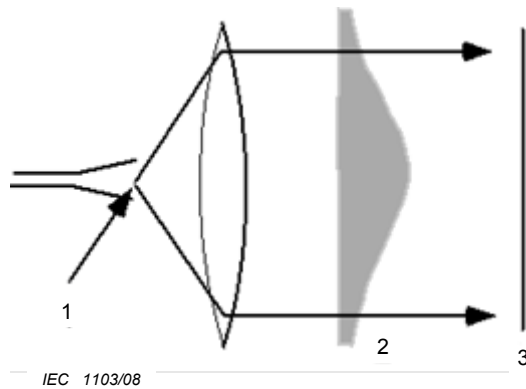


Figure 10a – Construction

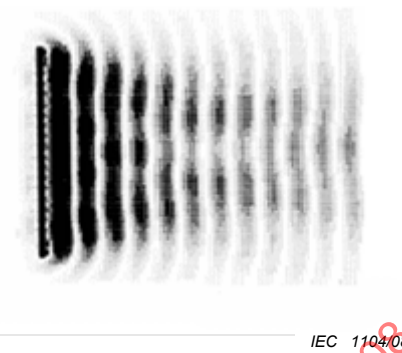


Figure 10b – Equi-phase plane

Key

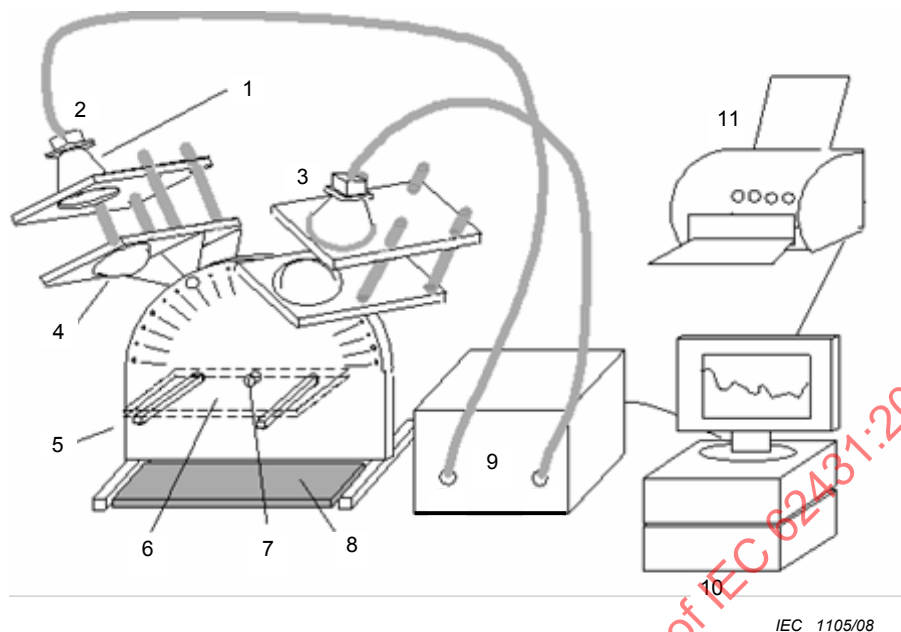
- 1 Radiation source of EM wave
- 2 Field distribution
- 3 Equi-phase plane pattern

Figure 10 – EM wave propagation using a horn antenna and a dielectric lens

11.2 Measurement system

11.2.1 Composition of measurement system

An example of a measurement system is shown in Figure 11. The specimen surface is kept normal to the plane of incidence. A specimen holder has a structure applicable to the measurement for oblique incidence. The directions of both antennas are adjusted such that incident and reflection angle may be equal by maximizing the reflection level of the receiving antenna.



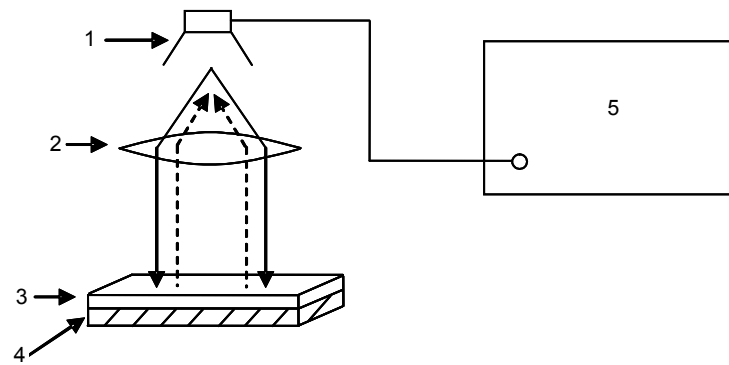
Key

- | | | | |
|---|----------------------|----|-------------------|
| 1 | Horn antenna | 7 | Rotary shaft |
| 2 | Transmitting antenna | 8 | EM-absorber |
| 3 | Receiving antenna | 9 | VNA/SNA |
| 4 | Dielectric lens | 10 | Personal computer |
| 5 | Specimen holder | 11 | Printer |
| 6 | Specimen | | |

Figure 11 – Block diagram of the measurement system

11.2.1.1 Normal incidence

Figure 12 shows the block diagram of a measurement system for normal incidence. One dielectric lens and a horn antenna are used. Reflection coefficient S_{11} is measured using a NWA. In order to remove the multiple reflections, a VNA is used which has the time domain function in order to extract only the reflected wave with required time gating width.



IEC 1106/08

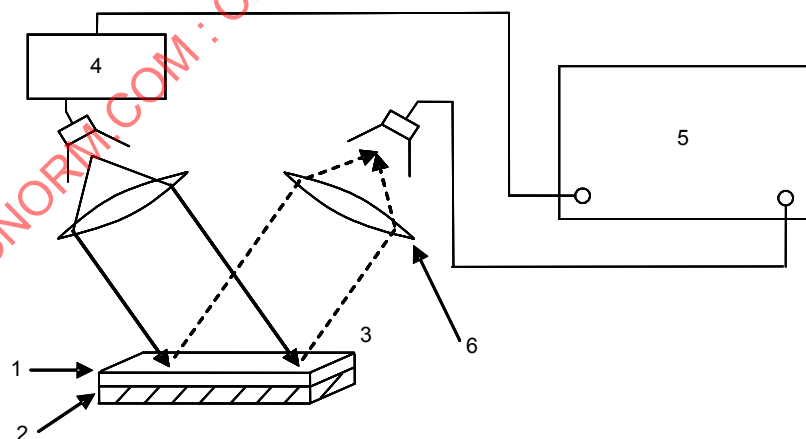
Key

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-------------|
| 1 | Horn antenna | 4 | Metal plate |
| 2 | Dielectric lens | 5 | VNA |
| 3 | Plane for calibration | | |

Figure 12 – A measurement system for normal incidence

11.2.1.2 Oblique incidence

Figure 13 shows the block diagram of a measurement system for oblique incidence. Transmission coefficient S_{21} is measured by using both dielectric lenses in transmitting and receiving antennas, respectively. In the case of oblique incidence, the spurious EM wave is decreased due to the scattering of the EM wave by multiple reflections. Therefore, usually, the time domain and gating functions of the VNA are not necessarily used. For this reason, a SNA can also be used. In high accuracy measurement, however, it is required to extract the reflected wave only from the specimen using the time domain and gating functions of VNA.



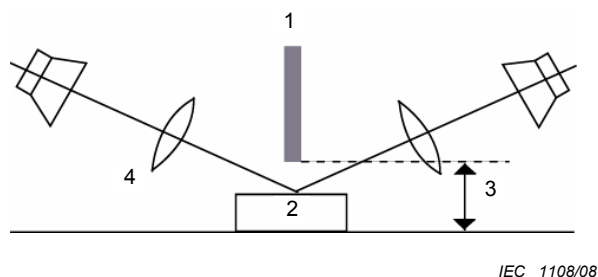
IEC 1107/08

Key

- | | | | |
|---|-----------------------|---|------------------------|
| 1 | Plane for calibration | 4 | Millimetre wave module |
| 2 | Metal plate | 5 | VNA/SNA |
| 3 | Specimen | 6 | Dielectric lens |

Figure 13 – Measurement system for oblique incidence

For incident angles larger than 70° , besides the correctly-reflected wave from specimen, the direct coupling between the transmitting and receiving antennas occurs. In this case, a shielding plate of an EM absorber should be used as shown in Figure 14. The calibration of the system should be performed including isolation. See Annex D.



Key

- | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Shielding plate of EM wave | 3 | Distance without direct coupling |
| 2 | Specimen | 4 | Dielectric lens |

Figure 14 – Position of a shielding plate

11.2.2 Dielectric lens antenna

11.2.2.1 Diameter of dielectric lens and surface roughness

The diameter of the lens is selected to be more than 10 times of the wavelength. Surface roughness must be less than $1/16 \lambda$. An example of specifications or sizes of dielectric lens is given in Annex C.

11.2.2.2 Horn antenna

A horn antenna is set so that the virtual source point of the antenna comes to the focal point of a dielectric lens. The position of the virtual source is illustrated in Annex C.

11.2.2.3 Distance between specimen and dielectric lens

The distance between a specimen and a lens is taken from 2,5 to 5 times of the diameter of the dielectric lens in order to avoid the near field region of the EM waves at the dielectric lens.

11.3 Specimen

11.3.1 General

In the case that dielectric lenses are used, the transmitted wave is not a plane wave, and the equi-phase front is not planar but is curved if it is away from the central axis, which leads to a decrease in the magnitude of the EM wave field. If the maximum phase difference of the EM wave within the specimen surface is less than $22,5^\circ$, i.e. $1/16$ of the wavelength, the decrease in the EM wave field is usually less than -10 dB. The error in reflectivity may be small for a larger specimen.

11.3.2 Reference metal plate

A metal plate with sizes equal to the specimen and made of aluminium or copper should be prepared.

11.3.3 Size of specimen

Each side of a specimen must be larger than 10λ where λ is the wavelength of the EM wave. In case of oblique incidence, it is desirable to take a larger path distance between the incident and reflected wave for the large incident angle. In order to remove the undesired reflections, EMAs are often put in the backward side of the reference metal plate and specimen.

11.4 Measurement procedures

11.4.1 Normal incidence

When the measurement is performed with a normal incidence the following steps shall be followed.

- a) Prepare a coaxial cable which connects the transmitting port of VNA and horn antenna. Connect the coaxial cable to the transmitting port of the VNA, and connect the other end of the cable to the horn antenna.
- b) Put the reference metal plate on the surface of the specimen, each side of which is larger than the diameter of dielectric lens, and carry out a response calibration using “Short” only. Next, optimize the gating time. Rotate and adjust the specimen mount in such a way that reflection from the metal plate would be maximal, and measure the reflectivity of the reference metal plate, R_m (dB).
- c) Put the specimen so that the upper surface will come at the same position as the reference plane, and measure the reflectivity of the specimen, R_a (dB). Calculate the reflectivity of the specimen by subtracting the receiving level, R_m (dB) of the reference metal plate from the receiving level, R_a (dB), of the specimen.

NOTE One horn antenna is used in the rigorous measurement of normal incidence. However, the measurement of oblique incidence by making the incident angle as small as approximately 5° can be usually assumed to be the same as normal incidence.

11.4.2 Oblique Incidence

11.4.2.1 Measurement using a VNA

When the measurement is performed with an oblique incidence and a VNA the following steps shall be followed.

- a) Adjust the spatial direction of an antenna properly according to the polarization of TE or TM waves.
- b) Set the transmitting and receiving antennas so as for the incident and reflection angles to be equal, respectively, and connect coaxial cables to each horn antenna. Put the reference metal plate at the same height of the specimen surface, and perform “Thru” calibration. Note that each side of the metal plate must be greater than the diameter of the dielectric lens.
- c) Optimize the gating time and width for measuring the reflectivity from the reference metal plate. Rotate the specimen mount in such a way that reflection from the reference metal plate is maximal, and measure the reflection from the reference metal plate, R_m (dB). If a wider dynamic range is required, “Isolation” calibration should be performed. See Annex F.
- d) Place the specimen so that its upper surface will come at the same height as the reference plane, and measure the reflection, R_a (dB).
- e) Calculate the reflectivity of the specimen by subtracting the receiving level, R_m (dB), of the reference metal plate from the receiving level, R_a (dB), of the specimen.

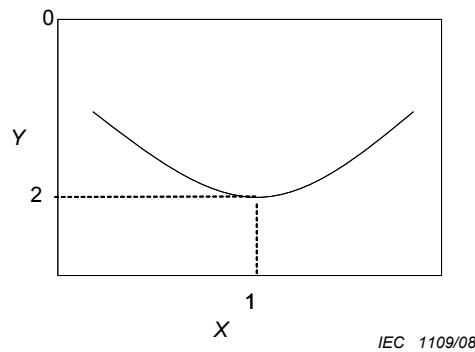
11.4.2.2 Measurement using a SNA

When the measurement is performed with an oblique incidence and a SNA the following steps shall be followed.

- a) Adjust the spatial direction of an antenna according to the polarization for TE wave or TM wave.
- b) Connect a coaxial cable to the transmitting port of the SNA and to the transmitting antenna, and another coaxial cable to the receiving port of the SNA and to the receiving antenna.
- c) Fix the transmitting and receiving antennas so that the incident and reflection angles may be equal. Connect coaxial cables to each horn antenna. Put the reference metal plate on the sample holder so that its height may be at the same height as the specimen surface. Set the SNA to the transmission measurement state. Note that each side of the reference metal plate must be larger than the diameter of the dielectric lens.
- d) Adjust the specimen holder such that the reflected signal level of the EM wave from the reference metal plate may become maximum. Calibrate the SNA.
- e) Put the specimen on the specimen holder so that the upper surface will come to the same height as that of the previous reference metal plate. Measure the reflectivity of the specimen, $R_a(\text{dB})$.

12 Test report

- a) A test report should be written in order to include the experimental results properly in the written form where the experimental conditions are indicated by the following terms.
- b) In a test report, indicate the specimen product type and name if possible. Product type may include material, shape, and composition of layers. Include the dimension of the specimen.
- c) The measurement results of the reflectivity of a specimen should be expressed in a table or graph form. Moreover, the measurement result of a dynamic range shall also be specified. Refer to Figure 15.
- d) It is necessary to enlist the used test equipment in the test report. It is also desirable to mention the manufacturer's model and latest calibration date.
- e) The reflectivity of the specimen is expressed in terms of dB. The unit of frequency is in terms of GHz.
- f) Describe the measurement method of the reflectivity of the specimen and the measurement procedures.
- g) Describe the measurement environment of the reflectivity of the specimen. Also mention whether the environment is an anechoic chamber or an indoor environment. Moreover, the measurement conditions (frequency range, number of points, averaging) of a NWA should also be indicated.



Key

- X Frequency [GHz]
- Y Reflectivity [dB]
- 1 Matching frequency f_m
- 2 Reflectivity at f_m

Figure 15 – Items to be mentioned in a test report

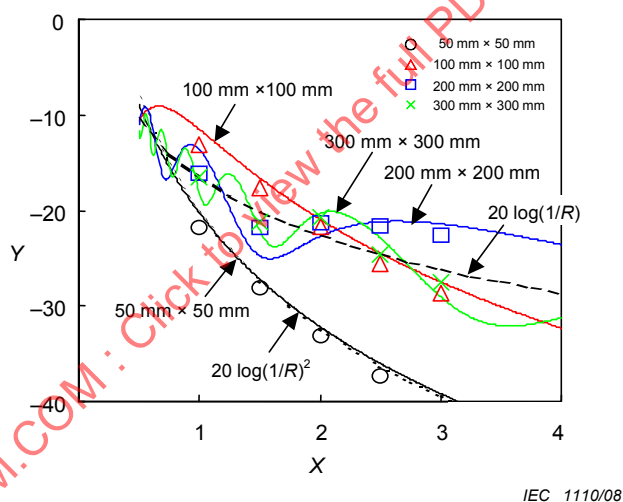
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

Annex A (informative)

Reflection and scattering from metal plate – Horn antenna method

A.1 Reflection characteristics

Figure A.1 shows the reflectivity of metal plates versus distance from the antenna for several aluminium plate sizes from 50 mm × 50 mm to 300 mm × 300 mm with thickness 2 mm at 40 GHz. Figure A.2 shows the reflectivity when the plates are positioned at 2 m from the transmitting and the receiving antennas. The reflectivity is defined as the received level of EM waves by the receiving antenna transmitted by a transmitting antenna through a direct path of 2 m length. The reflectivity of several metal plate sizes was measured. The curve, which was fitted to the measured data, was calculated using Kirchhoff's and Huygens' diffraction theory. The relation of the reflectivity of the reference metal plate to the distance from the transmitting antenna can be well explained by Kirchhoff's and Huygens' diffraction theory. Exact reflectivity data could not be obtained sufficiently when the specimen size is smaller than $\sqrt{(d_1 d_2 \lambda / (d_1 + d_2))}$ even if the sides of the metal plate are longer than the free-space wavelength λ . Therefore the measurement distance, i.e. the distance between the transmitting and the receiving antennas, should be carefully selected.

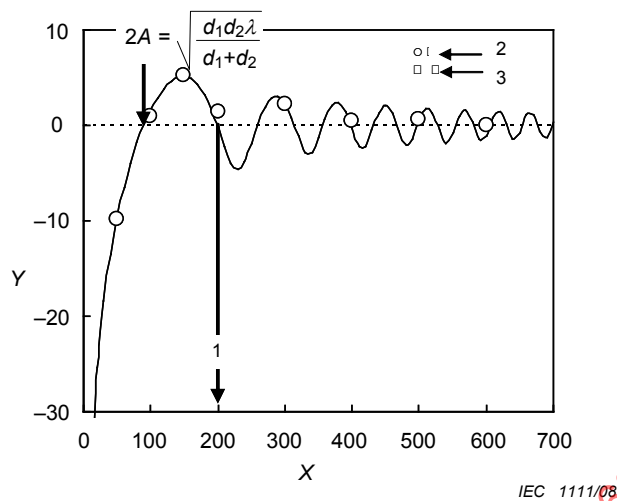


Key

X Measurement distance (m)

Y Reflection level (dB)

Figure A.1 – Reflection from the reference metal plate versus measurement distance between the antenna and the metal plate



Key

1 1st Fresnel zone

2 Measured data

3 Calculated data

X Dimension of a metal plate edge (mm)

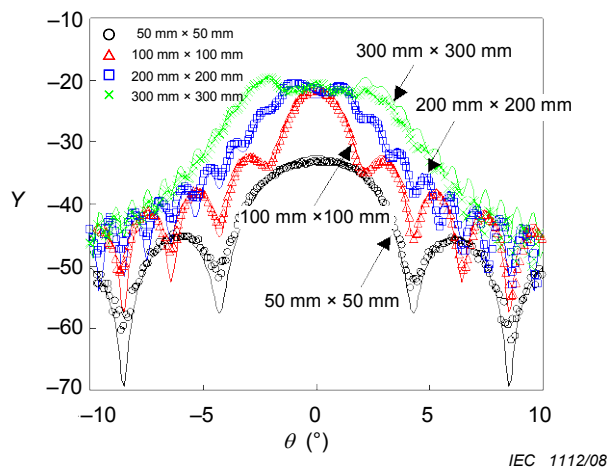
Y Reflectivity (dB)

The measurement distance is 2 m.

Figure A.2 – Reflectivity of reference metal plate versus size

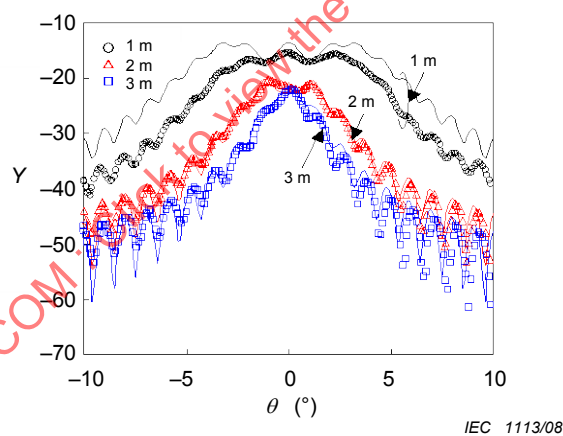
A.2 Scattering characteristics $\theta \doteq 0^\circ$

The reflectivity of the EM wave from metal plates of various sizes is shown in Figure A.3 when the distance between the antennas and a metal plate is set to be 2 m. The dependence of the measurement distance upon the reflectivity of a metal plate with a cross section of 200 mm × 200 mm is shown in Figure A.4. The incident angle θ of the EM wave, where the maximum reflectivity is obtained, depends upon the reference metal plate size and the distance from the antennas. Nearly flat reflectivity curve at around $\theta \doteq 0^\circ$ was obtained when the metal plate size is large or the distance between the metal plate and the antennas is short. This flat angular dependence is not desirable because the exact direction of the incident or transmitted EM wave cannot be determined simply from maximizing the measured signal level of the network analyzer.

**Key** θ Incident angle

Y Reflection level (dB)

The distance between the plate and the antenna is 2 m.

Figure A.3 – Reflectivity of reference metal plate at 40 GHz**Key** θ Incident angle

Y Reflection level (dB)

Distance between the plate and the antenna is 2 m.

Figure A.4 – Reflectivity of reference metal plate with cross section of 200 mm x 200 mm at 40 GHz

NOTE Analysis of the reference metal plates – Kirchhoff's and Huygens' diffraction theory: Several methods of analyzing the reflection wave from the metal plate have been proposed, such as a FDTD method and the equivalence theorem, a method of physical optics approximation, where Kirchhoff's and Huygens' principle is used in the present analysis. Here, the metal plate is replaced by the infinite wall with a slot. The infinite wall is completely opaque to the electromagnetic waves, i.e. the perfect absorbing wall. According to Kirchhoff's and Huygens' principle, when an infinite perfect absorbing half-wall is placed to $y = \pm\infty$ at $x = -A$ in the distance from a conveyance wave path, the electric field strength E_r in a receiving point of z-axis is given by

$$E_r = \frac{jE_0 e^{-j\beta d_2}}{\lambda d_2} \int_{-\infty}^{+\infty} dy \int_{-A}^{+\infty} e^{-j\beta(x^2+y^2)} (d_1+d_2) / 2d_1 d_2 dx \quad (\text{A.1})$$

where E_0 is electric field strength in origin which put an infinite perfect absorbing half-wall, β is phase constant, i.e. $2\pi/\lambda$, d_1 is distance from an origin to a source point, and d_2 is from an origin to a receiving point.

It should be noted that E_r is represented by the electric field strength E_{s0} without an infinite perfect absorbing half-wall as follows.

$$\frac{E_r}{E_{s0}} = \sqrt{\frac{j}{2}} \left(\frac{1-j}{2} + C(w) - jS(w) \right) \quad (\text{A.2})$$

$$w = A \sqrt{\frac{2(d_1+d_2)}{d_1 d_2 \lambda}}$$

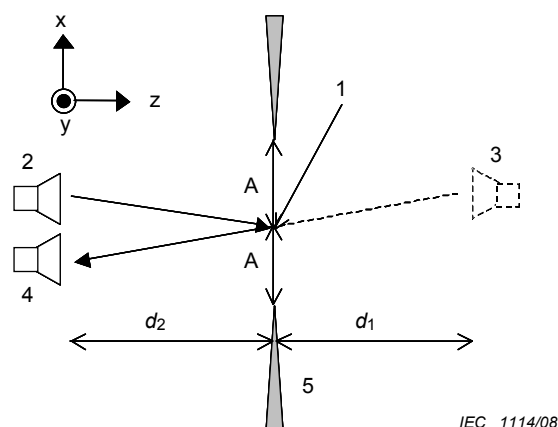
where $C(w)$ and $S(w)$ are Fresnel integrals. When a uniform plane wave is incident on an infinite perfect absorbing wall having a square slot of width $2A$, as shown in Figure A.5, E_r is given by

$$\frac{E_r}{E_{s0}} = (1 - 2\psi(w))(1 - 2\psi(w)) \quad (\text{A.3})$$

$$\psi(w) = \sqrt{\frac{j}{2}} \left(\frac{1-j}{2} + C(w) - jS(w) \right)$$

where d_1 is the distance between the perfect absorbing wall and the image of the transmitting antenna, and d_2 is the distance between the perfect absorbing wall and the actual transmitting and receiving antennas.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008



Annex B (informative)

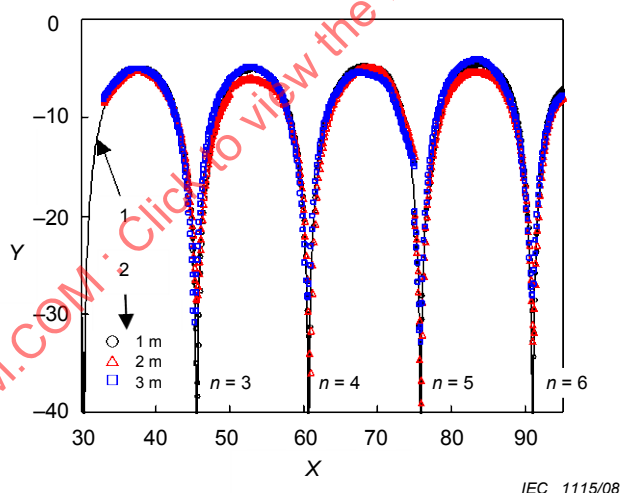
Reflectivity of reference specimens using horn antenna method

B.1 Reference material

The complex relative permittivity of quartz glass has been measured and compared in round robin tests by using the S-parameter method and cut-off cylindrical waveguide method. The value of relative permittivity is $3,80 - j 0$, and $\tan \delta$ is of order 10^{-4} , extremely small value.

B.2 Reflectivity of the reference material

Figure B.1 shows the reflectivity from a quartz glass plate with a cross section of $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ and thickness $5,07 \text{ mm}$ for the measurement distance 1 m , 2 m , and 3 m , respectively, in the frequency range from 33 GHz to 95 GHz , when a metal plate behind it is removed. The experimental data are plotted with circles, rectangles, and squares, and the solid curve is calculated theoretically using the complex relative permittivity of the quartz, $3,80 - j 0$, which is determined by S-parameter method. All these measurement data and the theoretical curve are in good agreement not only at the matching frequency but also at other frequencies. The difference between the measured and calculated results outside the matching frequency is from $\pm 0,5 \text{ dB}$ to $\pm 1 \text{ dB}$.



Key

- 1 Calculated data
- 2 Measured data
- X Frequency (GHz)
- Y Reflectivity (dB)

**Figure B.1 – Reflectivity of a $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ silica-glass plate
in millimetre wave frequency**

Annex C (informative)

Specifications of commercially available antennas

C.1 Horn antennas

Figure C.1 and Table C.1 show the structure and dimensions of commercially available pyramidal horn antennas with antenna gain of 24 dB for several frequency bands.

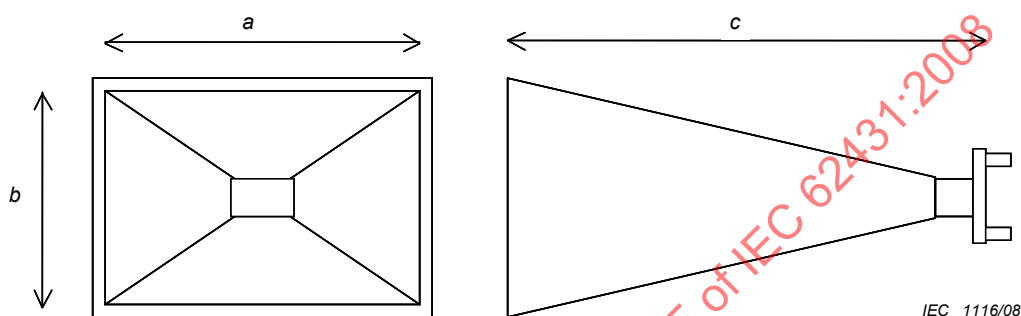


Figure C.1 – Representative specifications of a horn antenna

Table C.1 – Antenna gain 24 dB (example A)

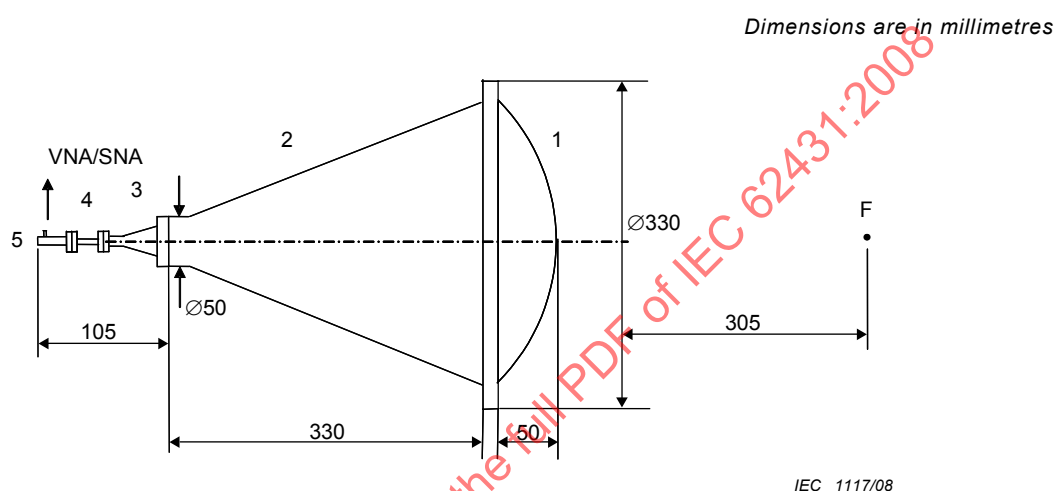
Frequency GHz	Waveguide	<i>a</i> mm	<i>b</i> mm	<i>c</i> mm
33~50	R-400	55,1	41,9	103,4
40~60	R-500	46,3	35,2	88,4
50~75	R-620	36,4	27,7	70,5
60~90	R-740	30,0	22,8	59,6
75~110	R-900	24,6	18,7	49,2
90~140	R-1200	19,7	15,0	39,6
110~170	R-1400	16,0	12,2	32,1
140~220	R-1800	12,5	9,6	26,3
170~260	R-2200	10,6	8,1	21,2
220~325	R-2600	8,4	6,4	18,0

C.2 Antennas consisting of dielectric lens

Table C.2, Figure C.2 and Figure C.3 show specifications and sizes for several kinds of horn antennas with dielectric lenses.

Table C.2 – Some specifications of antennas with dielectric lenses

Type	Diameter mm	Focal distance mm	Material	Method
A	305	305	Polyethylene	Focused beam
B	175	175	PTFE	"
C	175	275	"	"
D	120	—	"	Parallel beam

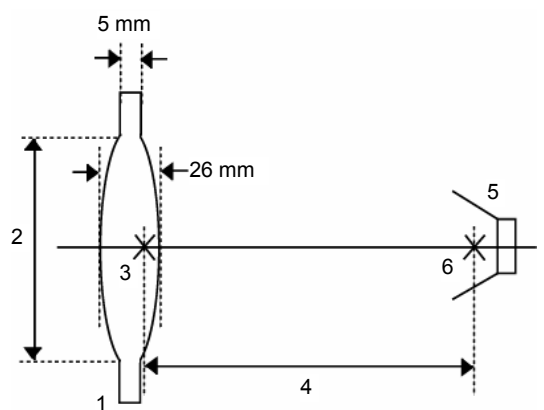


Key

- 1 Dielectric lens
- 2 Cylindrical horn antenna
- 3 Conical tip
- 4 Mode converter
- 5 Coaxial-waveguide adapter
- F Focus

For use of another frequency range, parts 3, 4, and 5 are exchanged.

Figure C.2 – Structure of cylindrical horn antenna with dielectric lens in Table C.2, A used at 50 GHz - 75 GHz

**Key**

- 1 Dielectric lens (radius of curvature 175 mm)
- 2 Diameter of lens
- 3 Principal point (optical centre)
- 4 Focal length (200 mm)
- 5 Horn antenna
- 6 Estimated virtual source point of electromagnetic wave

The type of horn antenna is selected from Table C.1 according to the measurement frequency range.

Figure C.3 – A structure of dielectric lens and horn antenna in Table C.2, D

Annex D (normative)

Calibration using VNA

D.1 Type of calibration

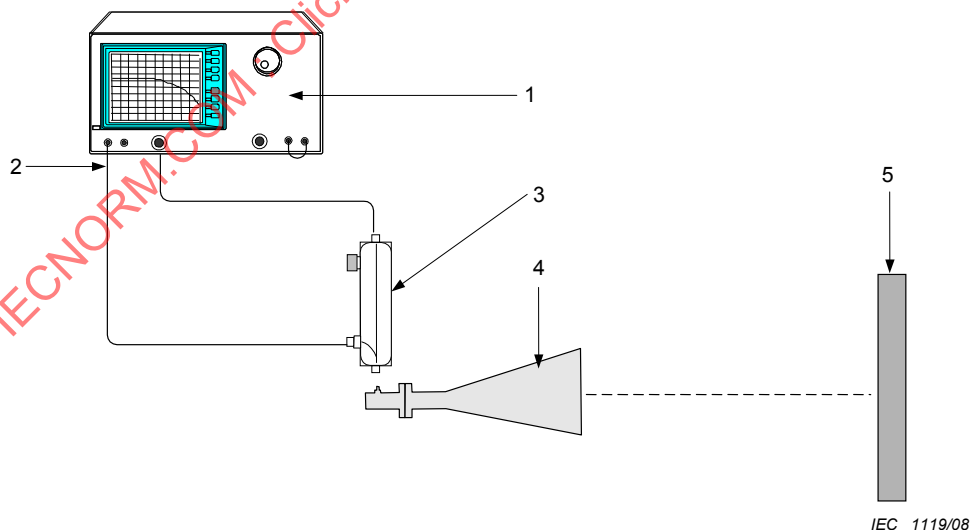
The types of calibration of VNA are classified as mentioned below.

D.1.1 In case of normal incidence

- a) S_{11} response calibration
- b) S_{11} response/Isolation calibration

In the case of normal incidence where only one antenna with no dielectric lens is used, the reflection level within the internal test set of the VNA and antenna connection is sometimes larger than that from the reference metal plate or the specimen, which leads to the degradation of dynamic range and that of reproducibility of the measurement. This situation may be improved by the following procedures.

- 1) Minimize the length of measurement cables.
- 2) Utilize the coaxial cable of low loss type.
- 3) Connect a directional coupler with directivity larger than 20 dB outside of the VNA as shown in Figure D.1. The reflection signal is fed to the additional input port of NWA. When NWA has no additional input port, the reflection signal is fed to test port 2, in which case VNA must be set in S_{21} mode, not in S_{11} mode.
- 4) Calibrate the measurement system with S_{11} response/isolation calibration, not with S_{11} response calibration.
- 5) Utilize the dielectric lens antenna.



Key

- 1 VNA with an additional input port
- 2 Additional input port
- 3 Directional coupler with high directivity
- 4 Horn antenna
- 5 Specimen or reference metal plate

Figure D.1 – Measurement configuration for the case of normal incidence with a directional coupler connected directly to the horn antenna

D.1.2 In case of oblique incidence

- a) S_{21} response calibration
- b) S_{21} response/isolation calibration

In the measurement of oblique incidence in which both the transmitting and receiving antennas are used, the calibration of the measurement system is effectively performed because it does not suffer from limitation of the dynamic range of the directional coupler.

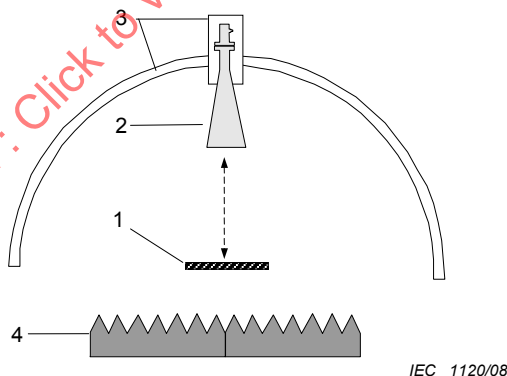
D.2 Calibration procedures

When the calculation of calibration is performed by using NWA, the definition table of calibration for each calibration standard must be created in each type of VNA. The calibration procedures and steps are summarized as follows.

D.2.1 S_{11} and S_{21} response calibration

As shown in Figure D.2 and Figure D.3, a reference metal plate is used as only one standard. This type of calibration is most simple. However, it can not escape from direct coupling of the antenna, impedance mismatching at connections of the antenna, and spurious reflection from the specimen holder. So that it is desirable to utilize the time domain and gating functions of NWA.

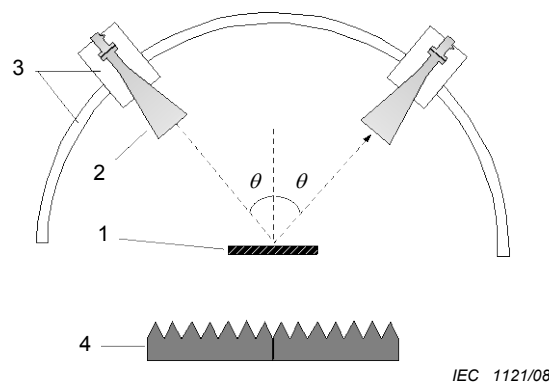
- a) Put a reference metal plate with the same size as a specimen on the specimen holder.
- b) Measure the reflection level.
- c) Make response calibration active.
- d) Measure the reflection level of the specimen in comparison with the reference metal plate which is prepared as a reference standard for total reflection.



Key

- 1 Reference metal plate
- 2 Horn antenna
- 3 Antenna mount
- 4 EM wave absorber

Figure D.2 – Configuration for response calibration using a reference metal plate in the case of normal incidence



Key

- 1 Reference metal plate
- 2 Horn antenna
- 3 Antenna mount
- 4 EM wave absorber

Figure D.3 – Configuration for response calibration using a reference metal plate in the case of oblique incidence

D.2.2 S_{11} and S_{21} response and isolation calibration

As shown in Figure D.4 and Figure D.5, the two standards, a reference metal plate and a no-reflection standard, are used. For a no-reflection standard, nothing is put on the specimen holder, and the wall behind the specimen holder should be well separated, so that the reflection from the wall may be minimized. For accurate reflectivity measurement, the calibration described in this section is more appropriate than the response calibration. Further, more exact measurement can be done by using the time domain and gating functions of the NWA.

- a) Put a reference metal plate with the same size as a specimen on the specimen holder.
- b) Measure reflection level ("Response" calibration).
- c) Remove the reference metal plate and the obstacles behind the sample holder which reflect the EM wave.
- d) Measure the reflection level ("Isolation" calibration).
- e) Make response and isolation calibration of NWA active.
- f) Measure the reflectivity of the specimen when the reference metal plate is assumed as a 100 % reflection standard and the configuration with no specimen on the specimen holder as a no-reflection standard.

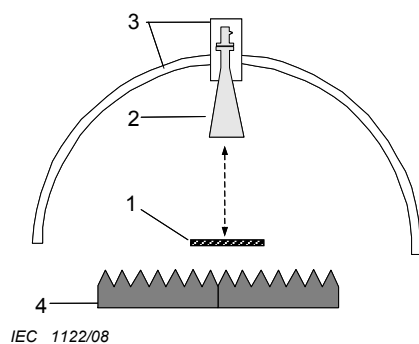


Figure D.4a – Response calibration

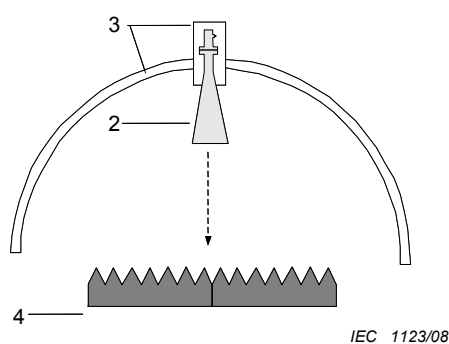


Figure D.4b – Isolation calibration

Key

- 1 Reference metal plate
- 2 Horn antenna
- 3 Antenna mount
- 4 EM wave absorber

Figure D.4 – Configuration for response and isolation calibration in the case of normal incidence

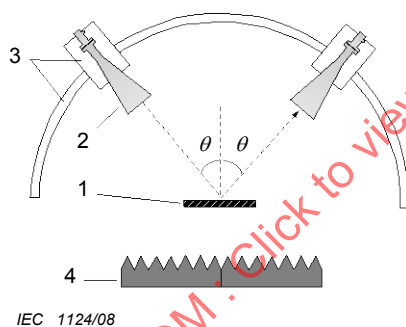


Figure D.5a – Response calibration

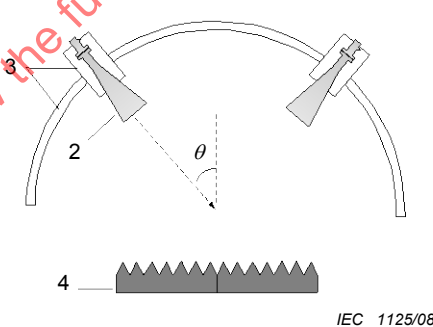


Figure D.5b – Isolation calibration

Key

- 1 Reference metal plate
- 2 Horn antenna
- 3 Antenna mount
- 4 EM wave absorber

Figure D.5 – Configuration for response and isolation calibration in the case of oblique incidence

D.2.3 S_{11} 1-port full calibration (“Short-A quarter wavelength offset short-load” calibration)

This type of calibration is applied for accurate reflectivity measurement when only an antenna is used for normal incidence. Impedance matching of the measurement port can be calibrated, which is not the case with simple response calibration. The configuration is shown in Figure D.6. It is required that the specimen holder and antenna mount must be positioned with accuracy smaller than $1/100 \lambda_m$ of the EM wave, where λ_m is the wavelength that corresponds to maximum frequency in the measurement frequency range.

- Put a reference metal plate with same size as a specimen on the specimen holder.
- Measure the complex reflection level (“Short” calibration).
- Move the receiving antenna or the specimen holder by the distance $\lambda/4$, where λ is the free space wavelength at the central frequency in the measurement range. A very accurate positioning is required for the calibration.
- Measure the complex reflection level (A quarter wavelength “Offset Short” calibration).
- Return the antenna or the specimen holder to its original position, and remove the reference metal plate. Remove as many reflection objects as possible behind the specimen holder.
- Measure the complex reflection level (“Load” calibration).
- Calculate the error parameters of the 1-port model. Make S_{11} 1-port calibration of VNA active.
- Measure the specimen, and compensate the error of the measured value.

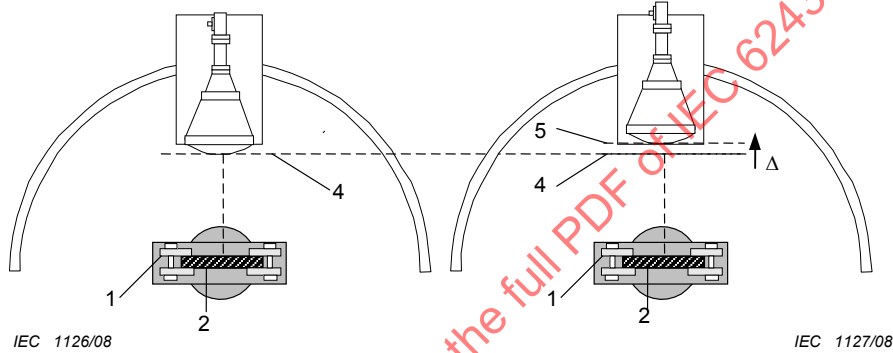


Figure D.6a – “Short” calibration

Figure D.6b – $1/4 \lambda$ “Offset Short” calibration

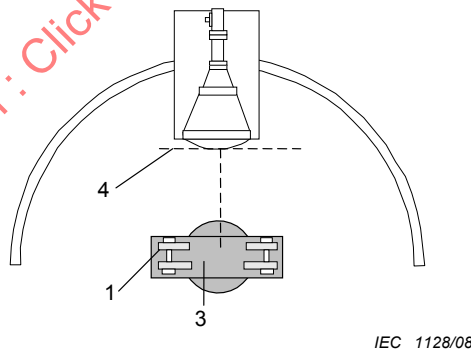


Figure D.6c – “Load” calibration

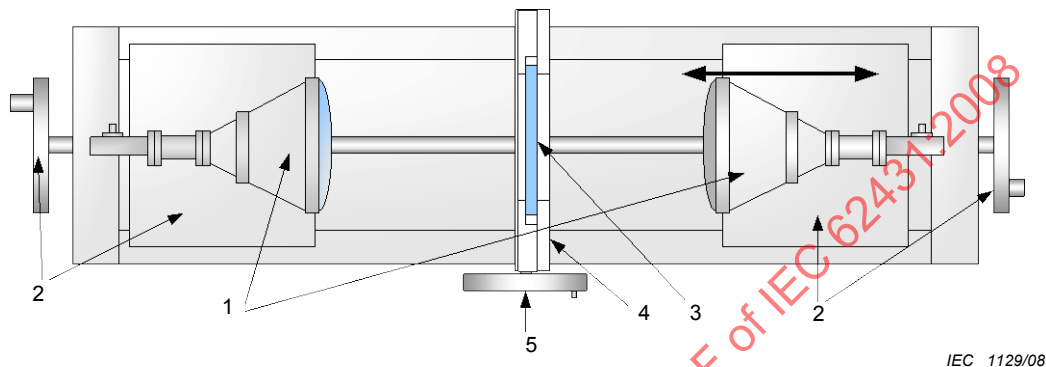
Key

- Specimen holder
- Reference metal plate
- Configuration with specimen removed
- Measurement position
- $1/4 \lambda$ “Offset” position

Figure D.6 – Configuration for S_{11} 1-port full calibration in the case of normal incidence

D.2.4 TRL 2-port calibration

Instead of performing 1-port full calibration, it is possible to measure reflectivity by using only 1 port antenna after performing 2-port full calibration. This procedure is mainly used in the measurement method described in Clause 10. TRL calibration is most appropriate for 2-port full calibration. In order to perform TRL calibration, a VNA, a pair of antennas and an antenna positioner must be prepared as shown in Figure D.7. It is required that the specimen holder and antenna mount must be positioned with accuracy smaller than $1/100 \lambda_m$ of the EM wave, where λ_m is the wavelength that corresponds to maximum frequency in the measurement frequency range.



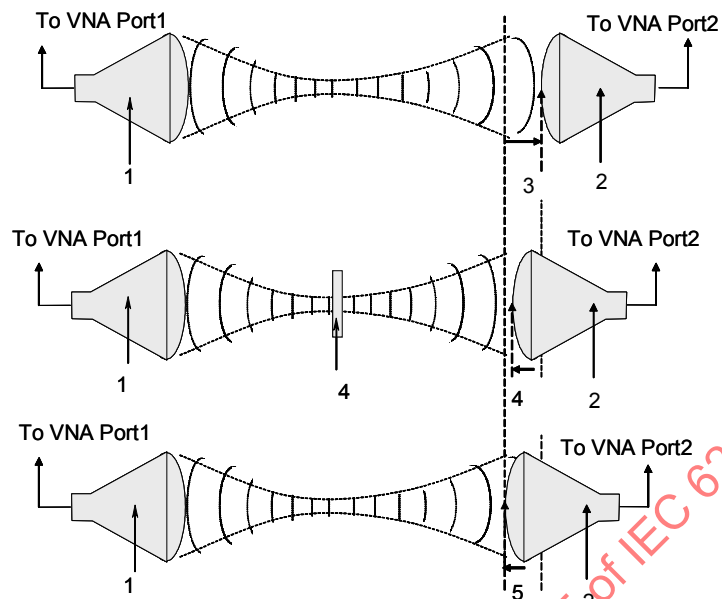
Key

- 1 Dielectric lens antenna
- 2 Antenna stand and micro-manipulating handle
- 3 Specimen
- 4 Specimen holder
- 5 Specimen holder mount and micro-manipulating handle

Figure D.7 – Precision antenna positioner configuration

As shown in Figure D.8, the calibration is performed as follows.

- a) Put port-1 antenna, specimen holder, and port-2 antenna as shown in Figure D.7. Adjust the two antennas to be in a confocal position.
- b) Take off a specimen or a reference metal plate. Move the port-2 antenna away from the reference position by a quarter wavelength at the central frequency in the measurement range. Perform “Line” calibration.
- c) Put the reference metal plate on the specimen holder. Move the port-2 antenna away from the reference position just by the thickness of the metal plate. Perform “Reflect” calibration.
- d) Return the port-2 antenna to the initial reference position and take off the specimen or the reference metal plate. Perform “Thru” (Through) calibration.
- e) Finish TRL calibration.
- f) Measure the reflectivity S_{11} of the specimen, where only the port-1 antenna is used as shown in Figure D.9. In the actual measurement, it is desirable to isolate the port-2 antenna from the port-1 antenna, by covering the port-2 antenna using an EMA and a metal plate. Separation of port 1 and port 2 antennas should be smaller than -40 dB.



IEC 1130/08

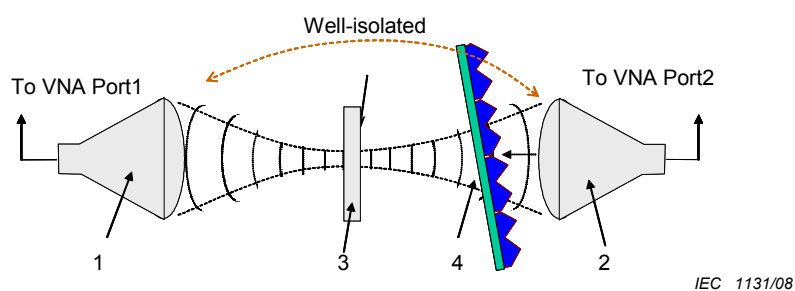
Key

- 1 Transmitting antenna
- 2 Receiving antenna
- 3 Position for "Line" calibration
- 4 A reference metal plate and the position for "Reflect" calibration
- 5 Position for "Thru" calibration

From top side, "Line", "Reflect", and "Thru" configurations are shown.

Figure D.8 – TRL calibration procedure

In the millimetre wave frequency, a quarter wavelength at the central frequency becomes smaller than the thickness of the reference metal plate. It is better to perform "Reflection" measurement first, the "Line" calibration second, and "Thru" calibration last. The reason is that motion of only one direction of the micro-manipulator on the antenna positioner can suppress occurrence of the back rush.

**Key**

- 1 Transmitting antenna
- 2 Receiving antenna
- 3 Specimen
- 4 EMA

Figure D.9 – Measurement and TRL calibration of transmission line

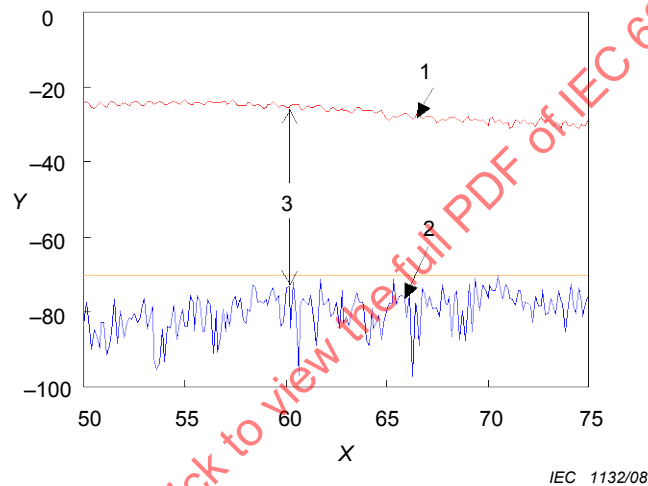
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

Annex E (informative)

Dynamic range and measurement errors

E.1 Dynamic range

Dynamic range is defined as the difference in dB between the receiving level from the reference metal plate and the level, which is measured after removing the metal plate. Figure E.1 shows the dynamic range and measurement error. The receiving level is between –80 dB and –70 dB when the metal plate is removed. In the millimetre-wave range, the dynamic range lies between 40 dB and 50 dB when the size of the reference metal plate is larger than $10\lambda \times 10\lambda$, and the distance between the metal plate and the antenna is from 1 m to 3 m.



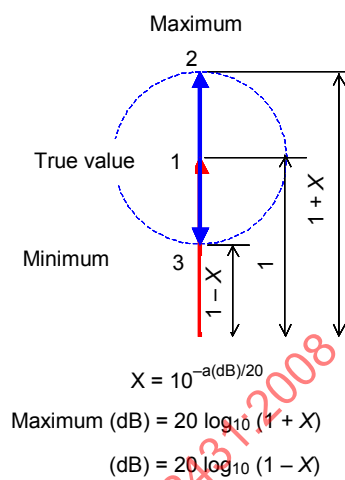
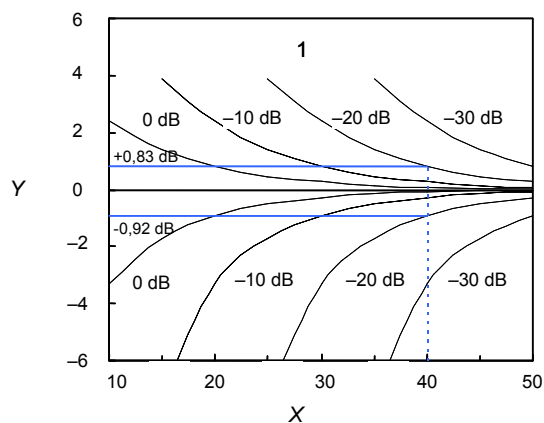
Key

- 1 Reference metal plate 300 mm × 300 mm
- 2 Receiving level without specimen
- 3 Dynamic range
- X Frequency (GHz)
- Y Receiving level (dB)

Figure E.1 – An example of receiving level of a reference metal plate and that without a specimen

E.2 Dynamic range and measurement error

The measured reflectivity may range from –20 dB – 0,92 dB to –20 dB + 0,83 dB when the reflectivity is measured for an EM wave absorber with reflectivity of –20 dB and the dynamic range of the system is 40 dB as shown in Figure E.2.



IEC 1133/08

Key

1 Reflectivity

X Dynamic range (dB)

Y Maximum error (dB)

Figure E.2 – Dynamic range and measurement error of reflectivity

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

Annex F (informative)

Enlargement of dynamic range – Calibration by isolation

In a horn antenna method, the receiving level consists not only of the reflected signal from a specimen, but also of the undesired signals due to such things as the direct wave from a transmit antenna, reflected waves from the specimen holder, and those from the other circumferential objects as shown in Figure F.1.

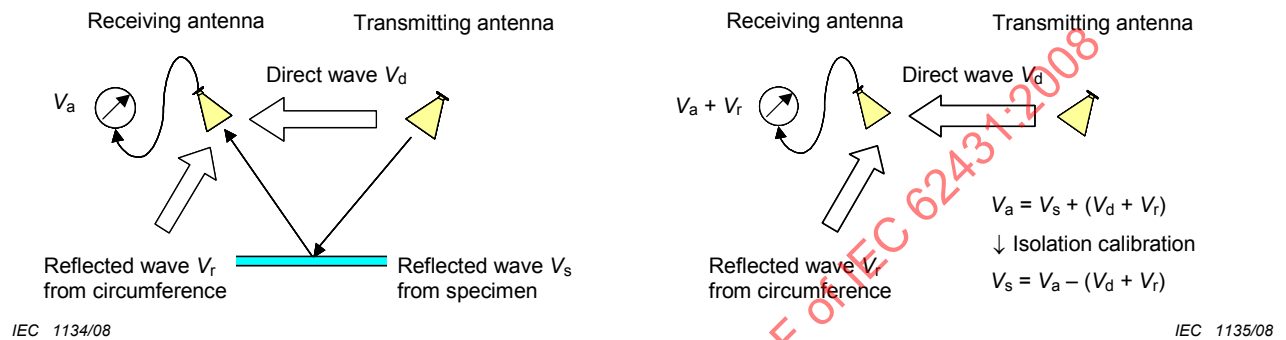


Figure F.1a – Configuration with specimen

Figure F.1b – Configuration without specimen

Figure F.1 – A method to remove spurious waves

Only the reflected waves from the specimen can be extracted from the spurious signals mathematically using the time domain technique. Moreover, there is a method to subtract the undesired waves from total reflected waves in vector quantity.

$$V_s = V_a - (V_d + V_r)$$

where V_a is the measured voltage in the case of a specimen put on a specimen holder, ($V_r + V_d$) are the voltage in the case of no specimen, respectively, i.e. V_d are direct wave voltage, and V_r reflected wave voltage from the specimen holder, and that from nearby objects, respectively. V_s can be obtained simply by subtracting ($V_d + V_r$) from V_a . Moreover, the reflected signal V_s purely from the specimen is obtained, after removing the spurious signals, by transforming V_s to a time-domain signal using for example the time domain function of the VNA, proper gating for the time domain signal, and by transformation into frequency domain data again.

Annex G (informative)

Relative permittivity of styrofoam and foamed polyethylene based on foam ratio

Table G.1 and Table G.2 show the relative permittivity of styrofoam and foamed polyethylene for several values of foaming ratio.

Table G.1 – Relative permittivity and foam ratio of styrofoam

Foam ratio	ϵ_r'
1 (pure)	2,65
20	1,083
30	1,055
40	1,041
60	1,028

Table G.2 – Relative permittivity and foam ratio of foamed polyethylene

Foam ratio	ϵ_r'
2	1,70
5	1,21
6	1,21
10	1,04
15	1,02
30	1,02

Annex H (informative)

Calculation of Fraunhofer region – Horn antenna method

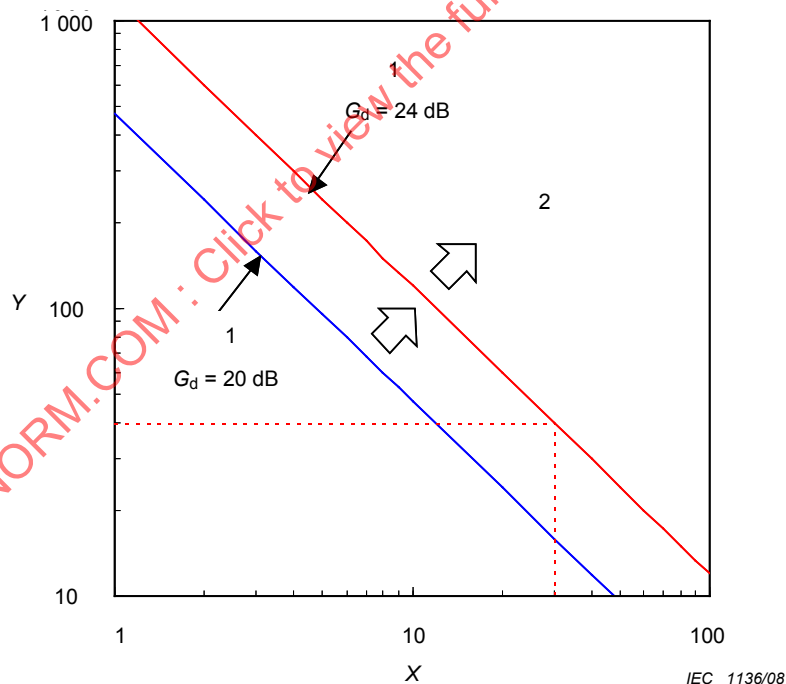
For EM waves radiated from the rectangular aperture of horn antenna, the distance, R , which represents the distance separating the Fresnel from the Fraunhofer region, the boundary between the two may be arbitrarily taken to be at Equation (H.1), where D is the maximum effective dimension of the antenna aperture, and λ is the wavelength. Directional gain, G_d , of the horn antenna is represented by Equation (H.2). From Equations (H.1) and (H.2), the distance R in Equation (H.3) can be obtained.

$$R \geq 2D_m^2 / \lambda \quad (\text{H.1})$$

$$G_d = 4\pi D_m^2 / \lambda^2 \quad (\text{H.2})$$

$$R \geq G_d \lambda / 2\pi \quad (\text{H.3})$$

An example of the calculation using Equation (H.3) is shown in Figure H.1. At 30 GHz, the lower limit of the measurement frequency range, if antenna gain is set to be 24 dB, then R becomes larger than 40 cm. In this case, it is preferred to fix the distance R greater than 1 m.



Key

- 1 Rectangular horn
- 2 Fraunhofer region
- X Frequency (GHz)
- Y Measurement distance (cm)

Figure H.1 – Fraunhofer region and antenna gain

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
1 Domaine d'application	61
2 Références normatives	61
3 Termes, définitions et acronymes	61
3.1 Termes et définitions	61
3.2 Acronymes et symboles	65
4 Specimen	66
4.1 Spécification du spécimen	66
4.2 Plaque de métal de référence	66
4.2.1 Matériau et épaisseur	66
4.2.2 Rugosité de la surface	67
4.2.3 Planéité	67
4.2.4 Taille et forme	67
4.3 Specimen de référence pour l'étalonnage	67
5 Support de spécimen	67
6 Appareil de mesure	67
6.1 Type d'analyseur de réseau	68
6.2 Antenne	68
6.2.1 Antenne à cornet	68
6.2.2 Antenne à lentille	68
6.3 Amplificateur	68
6.4 Câble	68
7 Conditions de mesure	68
7.1 Température et environnement	68
7.2 Stabilisation en température de l'appareil de mesure	69
7.3 Environnement électromagnétique	69
8 Étalonnage du système de mesure et conditions de mesure	69
8.1 Étalonnage du système de mesure	69
8.2 Conditions de mesure	69
8.2.1 Plage dynamique	69
8.2.2 Mise en œuvre de l'analyseur de réseau pour garder une plage dynamique convenable	69
9 Méthode de l'antenne à cornet	69
9.1 Système de mesure	69
9.1.1 Configuration du système de mesure	69
9.1.2 Antenne à cornet	71
9.1.3 Support de spécimen	71
9.1.4 Montage du spécimen	72
9.1.5 Support d'antenne	72
9.2 Conditions de mesure	72
9.2.1 Environnement de mesure	72
9.2.2 Distance de mesure	72
9.2.3 Taille du spécimen	73
9.3 Procédures de mesure	73
10 Méthode de l'antenne à lentille diélectrique – méthode du faisceau focalisé	74
10.1 Présentation	74

10.2	Système de mesure.....	75
10.2.1	Antenne d'émission et antenne de réception.....	75
10.2.2	Antenne à cornet à faisceau focalisé	76
10.2.3	Dimensions du spécimen.....	76
10.2.4	Dimensions de la plaque de métal de référence.....	77
10.2.5	Support de spécimen.....	77
10.2.6	Méthode de fixation du spécimen et de la plaque de métal de référence.....	77
10.3	Procédures de mesure	78
11	Méthode de l'antenne à lentille diélectrique – méthode du faisceau parallèle.....	79
11.1	Principe.....	79
11.1.1	Présentation	79
11.1.2	Faisceau d'ondes électromagnétiques parallèles formé à l'aide d'une lentille à ondes électromagnétiques	79
11.2	Système de mesure.....	80
11.2.1	Composition du système de mesure	80
11.2.2	Antenne à lentille diélectrique.....	83
11.3	Spécimen	84
11.3.1	Généralités.....	84
11.3.2	Plaque de métal de référence	84
11.3.3	Taille du spécimen	84
11.4	Procédures de mesure	84
11.4.1	Incidence normale	84
11.4.2	Incidence oblique	85
12	Compte rendu d'essai.....	85
Annexe A (informative) Réflexion et diffusion sur une plaque de métal – Méthode de l'antenne à cornet.....		87
Annexe B (informative) Réflectivité des spécimens de référence en utilisant la méthode de l'antenne à cornet.....		91
Annexe C (informative) Spécifications des antennes disponibles dans le commerce		92
Annexe D (normative) Étalonnage à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel		95
Annexe E (informative) Plage dynamique et erreurs de mesure		103
Annexe F (informative) Accroissement de la plage dynamique – Étalonnage par isolation.....		105
Annexe G (informative) Permittivité relative de la mousse de polystyrène et de la mousse de polyéthylène en fonction du taux d'expansion		106
Annexe H (informative) Calcul de la région de Fraunhofer – Méthode de l'antenne à cornet.....		107
Figure 1 – Définition de la réflectivité.....		64
Figure 2 – Configuration du système de mesure en incidence normale (S_{11}).....		70
Figure 3 – Configuration du système de mesure en incidence oblique (S_{21}).....		70
Figure 4 – Méthode de montage du spécimen.....		71
Figure 5 – Mécanisme d'ajustement de l'azimut et de l'élévation.....		72
Figure 6 – Système de mesure en incidence normale (vue de profil).....		75
Figure 7 – Système de mesure en incidence oblique (vue de dessus).....		75
Figure 8 – Structure d'une antenne à lentille diélectrique		76
Figure 9 – Structure du support de spécimen.....		77

Figure 10 – Propagation d'ondes électromagnétiques à l'aide d'une antenne à cornet et d'une lentille diélectrique	80
Figure 11 – Schéma fonctionnel du système de mesure.....	81
Figure 12 – Système de mesure en incidence normale	82
Figure 13 – Système de mesure en incidence oblique.....	83
Figure 14 – Position d'une plaque écran	83
Figure 15 – Eléments à mentionner dans un compte rendu d'essai	86
Figure A.1 – Réflexion sur la plaque de métal de référence en fonction de la distance de mesure entre l'antenne et la plaque de métal.....	87
Figure A.2 – Réflectivité de la plaque de métal de référence en fonction de la taille.....	88
Figure A.3 – Réflectivité d'une plaque de métal de référence à 40 GHz	89
Figure A.4 – Réflectivité d'une plaque de métal de référence de section 200 mm × 200 mm à 40 GHz.....	89
Figure A.5 – Analyse de la réflexion sur une plaque de métal	90
Figure B.1 – Réflectivité d'une plaque de verre de silice de 200 mm × 200 mm dans la plage de fréquences des ondes millimétriques	91
Figure C.1 – Spécifications représentatives d'une antenne à cornet.....	92
Figure C.2 – Structure d'antenne à cornet cylindrique avec lentille diélectrique du Tableau C.2, A, utilisée de 50 GHz à 75 GHz	93
Figure C.3 – Structure de lentille diélectrique et antenne à cornet du Tableau C.2, D	94
Figure D.1 – Configuration de mesure pour le cas en incidence normale avec un coupleur directionnel raccordé directement à l'antenne à cornet	96
Figure D.2 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse en utilisant une plaque de métal de référence dans le cas en incidence normale	97
Figure D.3 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse en utilisant une plaque de métal de référence dans le cas en incidence oblique	97
Figure D.4 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse et de l'isolation dans le cas en incidence normale	98
Figure D.5 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse et de l'isolation dans le cas en incidence oblique	98
Figure D.6 – Configuration pour l'étalonnage complet à 1 port S_{11} dans le cas en incidence normale.....	100
Figure D.7 – Configuration du positionneur d'antenne de précision	100
Figure D.8 – Procédure d'étalonnage TRL	101
Figure D.9 – Mesure et étalonnage TRL d'une ligne de transmission	102
Figure E.1 – Exemple de niveau de réception d'une plaque de métal de référence et de niveau de réception sans spécimen	103
Figure E.2 – Plage dynamique et erreurs de mesure de réflectivité	104
Figure F.1 – Méthode pour retirer les ondes parasites	105
Figure H.1 – Région de Fraunhofer et gain d'antenne	107
Tableau 1 – Acronymes	65
Tableau 2 – Symboles	65
Tableau C.1 – Gain d'antenne 24 dB (exemple A).....	92
Tableau C.2 – Spécifications d'antennes à lentilles diélectriques	93
Tableau G.1 – Permittivité relative et taux d'expansion du polystyrène	106
Tableau G.2 – Permittivité relative et taux d'expansion de la mousse de polyéthylène	106

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉFLECTIVITÉ DES ABSORBEURS D'ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LA PLAGE DES FRÉQUENCES DES ONDES MILLIMÉTRIQUES – MÉTHODES DE MESURE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62431 a été établie par le sous-comité 46F: Composants passifs pour hyperfréquences et radio fréquences, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

La norme CEI 62431 annule et remplace le IEC/PAS 62431 avec les corrections des erreurs évidentes, comme cela est spécifié dans le document 46F/29A/RVN.

La présente version bilingue publiée en 2011-11 correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2008-07.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 46F/65/CDV et 46F/72/RVC.

Le rapport de vote 46F/72/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62431:2008

RÉFLECTIVITÉ DES ABSORBEURS D'ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LA PLAGE DES FRÉQUENCES DES ONDES MILLIMÉTRIQUES – MÉTHODES DE MESURE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes de mesure de la réflectivité des absorbeurs d'ondes électromagnétiques (EMA: *Electromagnetic Wave Absorber*) pour une onde incidente normale, une onde incidente oblique et toute onde polarisée dans la plage des ondes millimétriques. En outre, ces méthodes sont aussi valables pour la mesure de réflectivité d'autres matériaux.

- plage des fréquences de mesure: 30 GHz à 300 GHz;
- réflectivité: 0 dB à - 50 dB;
- angle d'incidence: 0° à 80°.

NOTE Cette norme s'applique non seulement aux absorbeurs d'ondes électromagnétiques largement utilisés comme dispositifs de contre-mesure contre les erreurs de communication, le brouillage radioélectrique, etc., mais aussi aux absorbeurs d'ondes électromagnétiques utilisés dans une chambre anéchoïque dans certains cas. Les absorbeurs d'ondes électromagnétiques peuvent être constitués de n'importe quel type de matériau, et ils n'ont pas une forme, une configuration, ni une structure en couches particulières, comme cela est indiqué ci-dessous.

Matériau: matériau conducteur, matériau diélectrique, matériau magnétique.

Forme: plane, pyramidale, prismatique ou toute autre forme spécifique.

Structure en couches: une seule couche, plusieurs couches ou matériaux à gradient d'indice.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO/CEI 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (disponible en anglais uniquement)

3 Termes, définitions et acronymes

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

niveau ambiant

valeur du bruit ou de la puissance émise qui existe lorsque les mesures ne sont pas effectuées sur le site de l'expérience

3.1.2

matériel associé

appareil ou produit tiers raccordé par commodité ou pour le fonctionnement du matériel

3.1.3

diamètre d'un faisceau

diamètre dans lequel le champ électrique est inférieur de 3 dB au plus par rapport au centre du faisceau focalisé

3.1.4

col du faisceau

partie où le diamètre du faisceau focalisé devient minimal lorsqu'une lentille diélectrique fait converger les ondes électromagnétiques émises par une antenne d'émission

3.1.5

diamètre du col du faisceau

diamètre du faisceau au niveau du col du faisceau

3.1.6

mesure bistatique

mesure dans laquelle l'angle incident et l'angle de réflexion sont égaux

3.1.7

lentille diélectrique

lentille pour ondes électromagnétiques composée d'un matériau diélectrique

On l'utilise généralement en la plaçant devant un cornet pyramidal ou conique.

3.1.8

gain directionnel

rapport entre la densité de puissance émise dans une direction particulière et la densité de puissance moyenne qui serait émise dans toutes les directions

3.1.9

plage dynamique

différence en décibels entre le niveau de réception venant de la plaque de métal de référence et le niveau de réception mesuré sans plaque de métal

3.1.10

absorbeur d'ondes électromagnétiques

composant d'un matériau qui absorbe l'énergie des ondes électromagnétiques et la dissipe sous forme de chaleur

3.1.11

distance focale

distance entre le centre de la lentille diélectrique et le foyer

3.1.12

foyer

centre du col du faisceau lorsqu'une lentille diélectrique fait converger les ondes électromagnétiques

3.1.13

faisceau focalisé

onde électromagnétique focalisée que fait converger la lentille diélectrique placée devant l'antenne à cornet

Le diamètre du faisceau focalisé mesure quelques longueurs d'onde au niveau du col du faisceau, en fonction de la distance focale de la lentille.

3.1.14**région de fraunhofer**

région dans laquelle le diagramme de rayonnement angulaire d'une antenne à ouverture est quasiment indépendant de la distance

3.1.15**méthode en espace libre**

méthode de mesure qui utilise une ou deux antennes à cornet, dans laquelle le spécimen et les antennes sont placés en espace libre

3.1.16**région de fresnel**

région dans laquelle le diagramme de rayonnement angulaire d'une antenne à ouverture dépend de la distance depuis l'ouverture sauf à son extrémité proche

3.1.17**antenne à cornet**

antenne à ouverture dans laquelle l'adaptation d'impédance passe progressivement de l'ouverture du guide d'ondes à l'espace libre

3.1.18**mesure monostatique**

mesure dans laquelle les ondes réfléchies et incidentes suivent la même direction et avec un angle arbitraire par rapport à la normale à la surface du spécimen

3.1.19**incidence normale**

incidence pour laquelle une onde électromagnétique atteint la surface du spécimen selon la normale à cette surface

La réflectivité en incidence normale est généralement mesurée dans une configuration où l'angle incident d'une antenne d'émission et l'angle incident d'une antenne de réception forment un angle de 0° à 5° par rapport à la normale à la surface du spécimen.

3.1.20**incidence oblique**

incidence pour laquelle une onde électromagnétique atteint la surface du spécimen avec un angle oblique

La réflectivité en incidence oblique est généralement mesurée avec une antenne d'émission et de réception réglée de telle sorte que l'angle incident et l'angle réfléchi de l'onde électromagnétique peuvent être égaux.

3.1.21**faisceau parallèle**

onde électromagnétique, dont le front de phase est quasiment plat sur la surface normale à l'axe de l'antenne, et qui est formée par une lentille diélectrique placée devant une antenne à cornet

3.1.22**plaque de métal de référence**

plaque de métal dont la surface projetée suivant la normale sur le spécimen est de même forme et de même taille

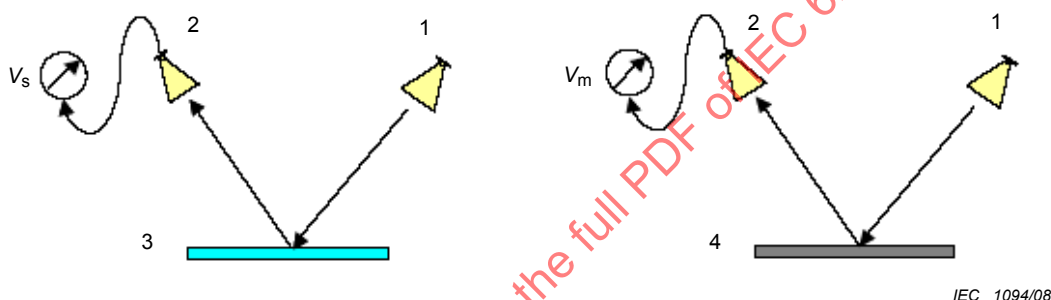
3.1.23

réflectivité

rapport entre la tension d'une onde électromagnétique réfléchie reçue par l'antenne de réception quand le spécimen est soumis au rayonnement de l'onde électromagnétique, et la tension de cette onde électromagnétique réfléchie par une plaque métallique de même taille et de même forme projetée selon la normale à la surface du spécimen, exprimée en décibels par

$$\text{reflectivité} = 20 \log_{10} \left| \frac{V_s}{V_m} \right| = 20 \log_{10} |V_s| - 20 \log_{10} |V_m| \text{ [dB]} \quad (1)$$

où V_s est la tension de l'onde électromagnétique réfléchie reçue par l'antenne de réception lorsque le spécimen est irradié par l'onde électromagnétique, et V_m est la tension de l'onde électromagnétique réfléchie par une plaque de métal de même taille et de même forme de projection selon la normale à la surface du spécimen. Voir Figure 1.



Légende

- 1 Antenne d'émission
- 2 Antenne de réception
- 3 Absorbeur d'ondes EM
- 4 Plaque de métal

Figure 1 – Définition de la réflectivité

3.1.24

fonction dans le domaine temporel

fonction d'un analyseur de réseau vectoriel permettant de transformer les données mesurées dans le domaine fréquentiel en données évoluant dans le temps à l'aide d'une transformée de Fourier inverse, car l'analyseur de réseau vectoriel peut mesurer à la fois l'amplitude et la phase d'une onde électromagnétique

En utilisant cette fonction, l'onde réfléchie ne provenant que du spécimen peut être extraite en appliquant une synchronisation temporelle appropriée au signal de sortie en fonction du temps et de la transformée de Fourier.

3.1.25

onde électrique transverse

onde TE

onde électromagnétique dans laquelle le champ électrique est perpendiculaire au plan d'incidence lorsque l'onde électromagnétique est incidente sur la surface du spécimen avec un angle oblique

3.1.26**onde électromagnétique transverse****onde TEM**

onde électromagnétique dans laquelle le champ électrique et le champ magnétique sont tous les deux perpendiculaires à la direction d'incidence lorsque l'onde électromagnétique est incidente en suivant la normale à la surface du spécimen

3.1.27**onde magnétique transverse****onde TM**

onde électromagnétique dans laquelle le champ magnétique est perpendiculaire au plan d'incidence lorsque l'onde électromagnétique est d'incidence oblique avec la surface du spécimen

3.2 Acronymes et symboles

Les acronymes et symboles sont représentés dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Tableau 1 – Acronymes

Acronymes	
CW	Onde entretenue (<i>Continuous Wave</i>)
EMA	Absorbeur d'ondes électromagnétiques (<i>Electromagnetic Wave Absorber</i>)
FFT	Transformée de Fourier rapide (<i>Fast Fourier Transformation</i>)
IF	Fréquence intermédiaire (<i>Intermediate Frequency</i>)
NWA	Analyseur de réseau (<i>Network Analyzer</i>)
PTFE	Polytétrafluoréthylène
SNA	Analyseur de réseau scalaire (<i>Scalar Network Analyzer</i>)
TE	Électrique transverse (<i>Transverse Electric</i>)
TEM	Électromagnétique transverse (<i>Transverse Electromagnetic</i>)
TM	Magnétique transverse (<i>Transverse Magnetic</i>)
TRL	Ligne traversante-réfléchissante, (<i>Thru-Reflect-Line</i>)
VNA	Analyseur de réseau vectoriel (<i>Vector network analyzer</i>)
VSWR	Taux d'ondes stationnaires en tension (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>)

Tableau 2 – Symboles

Symbole	Signification
A	La moitié de la taille de l'ouverture de la paroi d'un absorbeur idéal (la moitié d'un côté d'une plaque de métal de forme carrée (Annexe A))
a	La taille du côté le plus long au niveau de l'ouverture d'une antenne à cornet pyramidale
b	La taille du côté le plus court au niveau de l'ouverture d'une antenne à cornet pyramidale
c	Longueur d'une antenne à cornet pyramidale
$C(x)$	Intégrale de Fresnel
D	Diamètre de l'ouverture d'une antenne à cornet conique
d_1	Distance entre une image miroir d'une antenne d'émission et l'ouverture de la paroi d'un absorbeur idéal

Tableau 2 (suite)

Symbole	Signification
d_2	Distance entre l'ouverture de la paroi d'un absorbeur idéal et l'antenne de réception
D_m	Dimension maximale effective de l'ouverture d'antenne
E_0	Intensité du champ électrique au niveau d'un absorbeur idéal (Annexe A)
E_r	Intensité du champ électrique reçu dans le cas d'un absorbeur idéal avec une ouverture carrée de taille $2a$ (Annexe A)
E_{s0}	Intensité du champ électrique reçu sans absorbeur idéal (Annexe A)
G_d	Gain directionnel de l'antenne à cornet
R	Distance entre l'ouverture de l'antenne à cornet et le spécimen
R_a	Niveau de réception dans le cas où le spécimen d'essai est placé sur son support (dB)
R_m	Niveau de réception dans le cas où la plaque de métal de référence est placée sur le support de spécimen (dB)
S_{11}	Coefficient de réflexion
S_{21}	Coefficient de transmission
$S(x)$	Intégrale de Fresnel
V_a	Tension de réception dans le cas où le spécimen d'essai est placé sur son support
V_d	Tension de réception issue de l'onde directe provenant de l'antenne d'émission et de réception
V_m	Tension de réception issue de l'onde réfléchie par la plaque de métal de même section et de même forme que le spécimen d'essai
V_r	Tension de réception issue de l'onde réfléchie sans le spécimen d'essai
V_s	Tension de réception issue de l'onde réfléchie uniquement par le spécimen d'essai
β	Constante de phase ($=2\pi/\lambda$)
Γ_a	Niveau de réception dans le cas où l'absorbeur électromagnétique est placé sur le support de spécimen (quantité vectorielle)
Γ_m	Niveau de réception dans le cas où la plaque de métal de référence est placée sur le support de spécimen (quantité vectorielle)
Γ_r	Niveau de réception dans le cas où le spécimen d'essai n'est pas placé sur son support (quantité vectorielle)
ϵ_r'	Partie réelle de la permittivité relative
θ	Angle d'incidence de l'onde électromagnétique
λ	Longueur d'onde de l'onde électromagnétique en espace libre

4 Spécimen

4.1 Spécification du spécimen

Il est recommandé que la surface du spécimen soit plane et que les dimensions de sa structure rigide soient supérieures ou égales à $10 \lambda_l$, où λ_l est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique à la plus basse fréquence dans la plage des fréquences de mesure. Toutefois, des spécifications détaillées sont données dans chacune des trois méthodes de mesure décrites dans les Articles 9, 10, et 11.

4.2 Plaque de métal de référence

4.2.1 Matériau et épaisseur

Il est préférable d'utiliser de l'aluminium, du cuivre, de l'acier inoxydable ou tout autre métal, d'épaisseur comprise entre environ 1 mm et 2 mm.

4.2.2 Rugosité de la surface

Il convient que la rugosité de la surface d'une plaque de métal de référence soit inférieure à $\lambda_m/10$, bien qu'inférieure à $\lambda_m/20$ soit préférable, où λ_m est la longueur d'onde qui correspond à la fréquence maximale dans la plage des fréquences de mesure. Par exemple, si la fréquence maximale est de 300 GHz, alors λ vaut 1 mm et la rugosité préférentielle est de 0,05 mm.

4.2.3 Planéité

Il est recommandé d'avoir une planéité inférieure à 0,5 mm pour une plaque de métal de référence de taille 1 m × 1 m.

4.2.4 Taille et forme

Il convient que la plaque de métal de référence ait la même taille et la même forme, selon la projection normale à la surface du spécimen, que le spécimen. Toutefois, il est souhaitable d'utiliser la taille spécifiée pour chaque méthode dans les Articles 9, 10, et 11. Il convient d'observer les précautions d'usage lors du choix de la taille la plaque de métal de référence parce que les caractéristiques de réflexion et de diffusion peuvent dépendre de sa taille, en raison de la réfraction de Fresnel. La relation entre les caractéristiques de réflexion et de diffusion et la taille dans le cas de l'antenne à cornet est illustrée en Annexe A.

4.3 Spécimen de référence pour l'étalonnage

Il convient d'utiliser une plaque de verre de silice ou une plaque de saphir monocristallin (001) d'épaisseur uniforme et de surface lisse comme spécimen de référence pour l'étalonnage. Il convient de connaître à l'avance la permittivité relative. Quand un matériau diélectrique est choisi, la réflectivité du spécimen doit être mesurée sans rien mettre sur la surface arrière du spécimen de référence. Il convient de fixer le spécimen de référence à l'aide d'un matériau tel que le plastique expansé dont la permittivité relative est proche de 1 et sur lequel les ondes électromagnétiques ne se réfléchissent pas comme en espace libre. Il est recommandé de vérifier la précision du système de mesure en comparant la réflectivité mesurée à la réflectivité théorique. La réflectivité d'une plaque de verre de silice mesurée dans la plage des ondes millimétriques est donnée à l'Annexe B.

5 Support de spécimen

Un support de spécimen peut être différent pour chaque méthode de mesure mentionnée dans les Articles 9, 10 et 11. Il convient que le support de spécimen possède des fonctions pour ajuster l'azimut et l'élévation.

6 Appareil de mesure

Il faut que le matériel soit étalonné conformément aux procédures établies par les fabricants ou par des laboratoires d'étalonnage accrédités selon l'ISO/CEI 17025. Les éléments à étalonner comprennent la fréquence, la tension et l'affaiblissement, qui dépendent de la précision de la mesure ou de l'incertitude sur les appareils de mesure. L'utilisation correcte des appareils de mesure est très importante pour obtenir des résultats exacts. La réflectivité de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques doit être mesurée en utilisant un analyseur de réseau vectoriel ou un analyseur de réseau scalaire. Quand les résultats mesurés présentent des anomalies, il est nécessaire d'étalonner le système de mesure en utilisant un spécimen de référence. Il convient de choisir les appareils nécessaires en fonction du type de méthode de mesure utilisé, comme cela est présenté ci-dessous.

6.1 Type d'analyseur de réseau

L'analyseur de réseau vectoriel est recommandé parce qu'il peut mesurer l'amplitude et la phase de S_{11} et de S_{21} et parce qu'il possède des fonctions du domaine temporel.

L'analyseur de réseau scalaire ne peut mesurer que l'amplitude de S_{11} et de S_{21} .

6.2 Antenne

6.2.1 Antenne à cornet

Une antenne à cornet disponible dans le commerce ou une antenne à cornet incorporée peut être utilisée pour mesurer la réflectivité de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques, sauf dans des cas particuliers. Toutefois, en raison de la précision de son gain, de son taux d'ondes stationnaires en tension et de sa taille, il est recommandé d'utiliser l'antenne à cornet disponible dans le commerce pour satisfaire la précision de mesure exigée. Le transducteur de guide d'ondes coaxial disponible dans le commerce est également recommandé pour vérifier les tailles ou les taux d'ondes stationnaires en tension dans chaque bande de fréquences. Les spécifications de certaines antennes à cornet disponibles dans le commerce sont présentées à l'Annexe C.

6.2.2 Antenne à lentille

Dans le cadre de la mesure de la réflectivité de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques de la présente norme, on peut utiliser une antenne à lentille diélectrique, mais aussi une antenne à lentille à plaque de métal ou une antenne à lentille de Luneberg. Un produit disponible dans le commerce ou incorporé peut également être applicable. Toutefois, il est recommandé d'utiliser une antenne à lentille disponible dans le commerce, dont le gain de l'antenne, le taux d'ondes stationnaires en tension et les tailles sont spécifiés, afin d'obtenir la précision de mesure requise. Les spécifications des antennes à cornet et des lentilles diélectriques disponibles dans le commerce sont présentées dans l'Annexe C.

6.3 Amplificateur

Un amplificateur est généralement utilisé afin d'obtenir une plage dynamique du système de mesure suffisante. L'amplificateur doit être stabilisé en température et il convient de garder aussi constante que possible la température parce que le gain total de l'amplificateur variera en fonction de la dérive de température, comme cela est décrit à l'Article 7.

6.4 Câble

Il faut que la dégradation des caractéristiques de transmission des câbles soit contrôlée dans la plage de fréquences de mesure lorsque les câbles sont directement raccordés.

7 Conditions de mesure

7.1 Température et environnement

Il convient d'effectuer la mesure dans une salle dont la pression atmosphérique est comprise entre 860 hPa et 1 060 hPa, la température entre 5 °C et 35 °C et l'humidité relative entre 45 % et 85 %. Si les plages de températures de fonctionnement et d'humidité relative des appareils de mesure sont plus petites que celles décrites ci-dessus, il convient de se conformer aux spécifications des appareils de mesure. Il est souhaitable de contrôler la température de mesure avec une précision de ± 3 °C afin de réduire au maximum l'influence de la dérive de température des appareils de mesure. Il convient de spécifier la température ou l'humidité de la mesure du spécimen quand la réflectivité dépend de la température ou de l'humidité.

7.2 Stabilisation en température de l'appareil de mesure

Il faut que le temps de stabilisation en température, en général 15 min à 45 min, soit précisé dans les spécifications des systèmes ou des appareils de mesure. En outre, il convient de prendre le plus long temps de stabilisation en température de tous les appareils de mesure.

7.3 Environnement électromagnétique

Quand la densité de puissance des ondes électromagnétiques dans l'environnement de mesure dépasse ce qui est spécifié dans les réglementations publiques, et quand l'environnement électromagnétique est jugé trop perturbant, il convient d'effectuer les mesures dans une chambre anéchoïque. Toutefois, quand le gain directionnel d'une antenne est élevé, une chambre anéchoïque n'est pas forcément nécessaire.

8 Étalonnage du système de mesure et conditions de mesure

8.1 Étalonnage du système de mesure

Il faut que l'étalonnage du système de mesure soit effectué conformément aux méthodes recommandées par l'analyseur de réseau. Des méthodes d'étalonnage typiques sont représentées à l'Annexe D. Si la température à laquelle le système de mesure est étalonné est égale à la température de mesure ± 3 °C, les erreurs de mesure peuvent être minimisées. Toutefois, si la température de mesure dépasse la tolérance de ± 3 °C, alors il est recommandé d'effectuer un nouvel étalonnage.

8.2 Conditions de mesure

8.2.1 Plage dynamique

Il faut que les niveaux de réception avec et sans plaque de métal de référence soient mesurés une première fois lorsque le système de mesure est installé. La plage dynamique est définie comme la différence de ces valeurs mesurées, en décibels. L'Annexe E illustre la relation entre la plage dynamique et l'erreur de mesure. Si la plage dynamique du système de mesure est de 40 dB et la réflectivité du spécimen est de -20 dB, on obtient une erreur comprise entre -0,92 dB et +0,83 dB.

8.2.2 Mise en œuvre de l'analyseur de réseau pour garder une plage dynamique convenable

La plage dynamique du système de mesure peut être agrandie en modifiant la bande de fréquence intermédiaire (IF) ou en utilisant la fonction de calcul de la moyenne de l'analyseur de réseau quand la plage dynamique ne dépasse pas une certaine valeur. La plage dynamique est augmentée par l'utilisation de l'étalonnage de l'isolation de l'analyseur de réseau vectoriel, comme illustré à l'Annexe F.

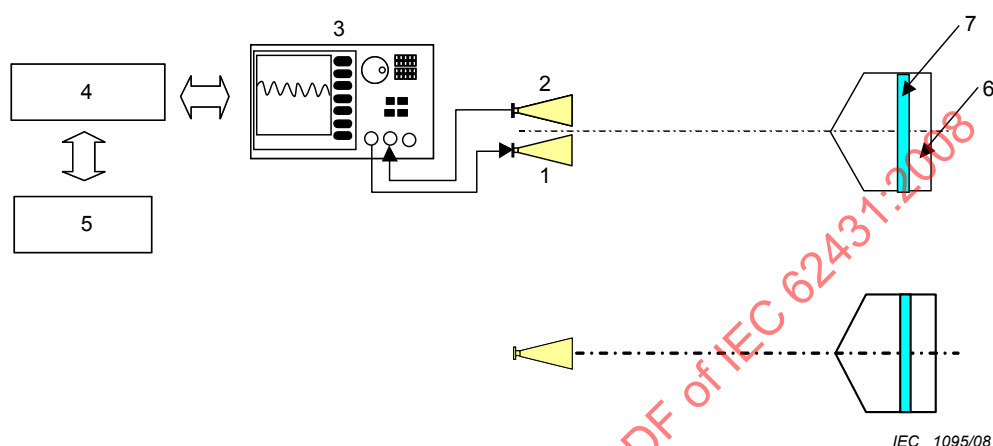
9 Méthode de l'antenne à cornet

9.1 Système de mesure

9.1.1 Configuration du système de mesure

La Figure 2 et la Figure 3 illustrent un schéma fonctionnel du système de mesure. La disposition de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception, et le schéma fonctionnel du système de mesure dans la méthode de l'antenne à cornet sont illustrés ci-dessous dans le cas d'une mesure avec une incidence normale et dans le cas d'une mesure avec une incidence oblique. Pour mesurer le coefficient de transmission S_{21} , on utilise une paire d'antennes, alors qu'une seule antenne est utilisée pour mesurer le coefficient de réflexion S_{11} en incidence normale.

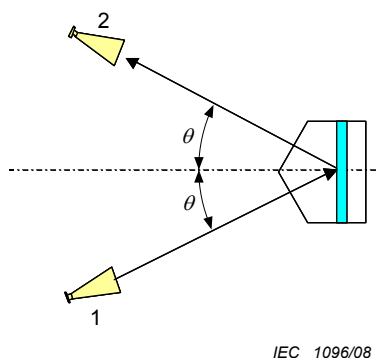
Dans le cas en incidence oblique, il convient de placer l'antenne d'émission de telle sorte que l'angle entre l'axe central de l'antenne d'émission et la normale à la surface du spécimen soit égal à l'angle entre l'axe central de l'antenne de réception et la normale à la surface du spécimen. Ici, si S_{21} est mesuré à l'aide de deux antennes à cornet en incidence normale, alors il convient que l'alignement vertical de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception ne dépasse pas 5° . Le matériel de mesure comprenant un analyseur de réseau est présenté à l'Article 6.



Légende

- 1 Antenne d'émission
- 2 Antenne de réception
- 3 VNA/SNA
- 4 Ordinateur
- 5 Imprimante
- 6 Support de spécimen
- 7 Spécimen

Figure 2 – Configuration du système de mesure en incidence normale (S_{11})



Légende

- 1 Antenne d'émission
- 2 Antenne de réception

Figure 3 – Configuration du système de mesure en incidence oblique (S_{21})

9.1.2 Antenne à cornet

Une antenne à cornet disponible dans le commerce ou une antenne à cornet incorporée peut être utilisée pour mesurer la réflectivité de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques, sauf dans des cas particuliers. Avant de procéder à la mesure de la réflectivité, il est nécessaire de calculer le gain directionnel de l'antenne à cornet pour déterminer la distance qui sépare l'antenne du spécimen. Le gain directionnel, le rapport d'ondes stationnaires en tension et la dimension doivent être contrôlés et correspondre à ceux du catalogue lorsqu'une antenne à cornet du commerce est utilisée.

9.1.3 Support de spécimen

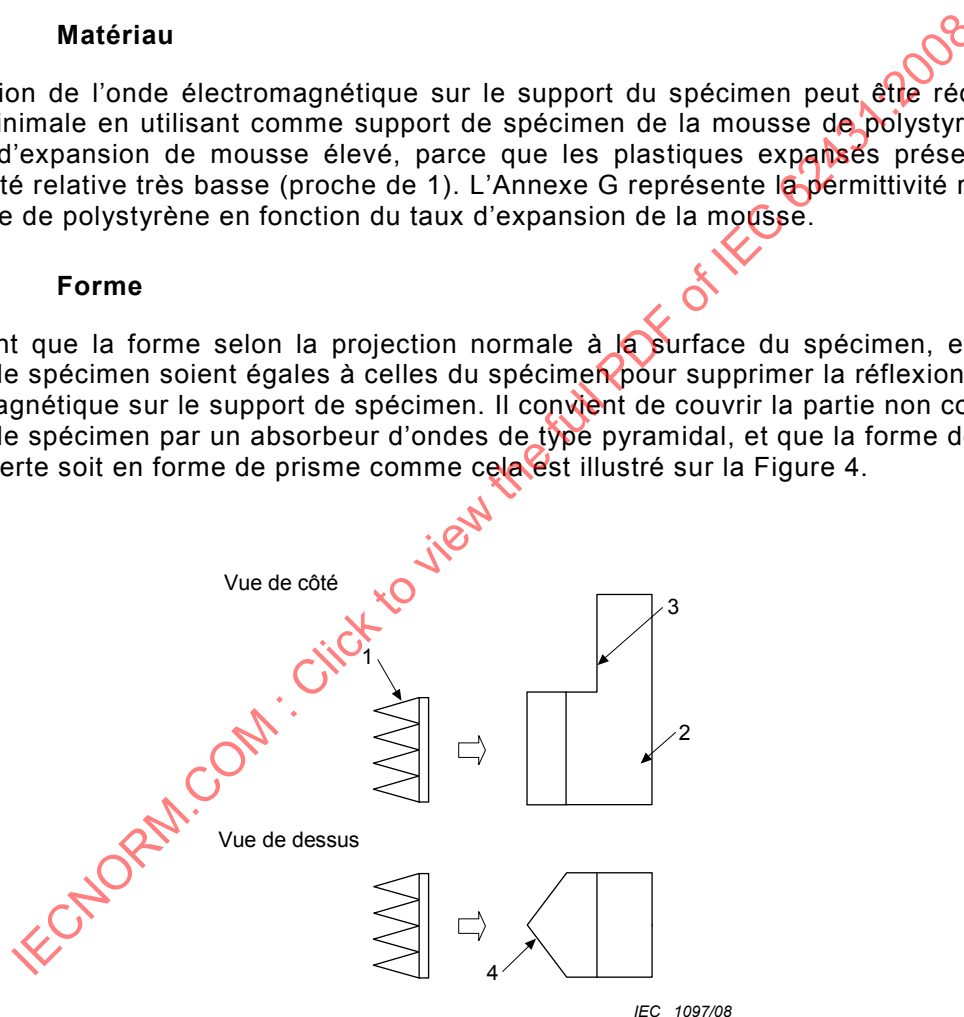
9.1.3.1 Matériau et forme

9.1.3.1.1 Matériau

La réflexion de l'onde électromagnétique sur le support du spécimen peut être réduite à sa valeur minimale en utilisant comme support de spécimen de la mousse de polystyrène, avec un taux d'expansion de mousse élevé, parce que les plastiques expansés présentent une permittivité relative très basse (proche de 1). L'Annexe G représente la permittivité relative de la mousse de polystyrène en fonction du taux d'expansion de la mousse.

9.1.3.1.2 Forme

Il convient que la forme selon la projection normale à la surface du spécimen, et l'aire du support de spécimen soient égales à celles du spécimen pour supprimer la réflexion de l'onde électromagnétique sur le support de spécimen. Il convient de couvrir la partie non couverte du support de spécimen par un absorbeur d'ondes de type pyramidal, et que la forme de la partie non couverte soit en forme de prisme comme cela est illustré sur la Figure 4.



IEC 1097/08

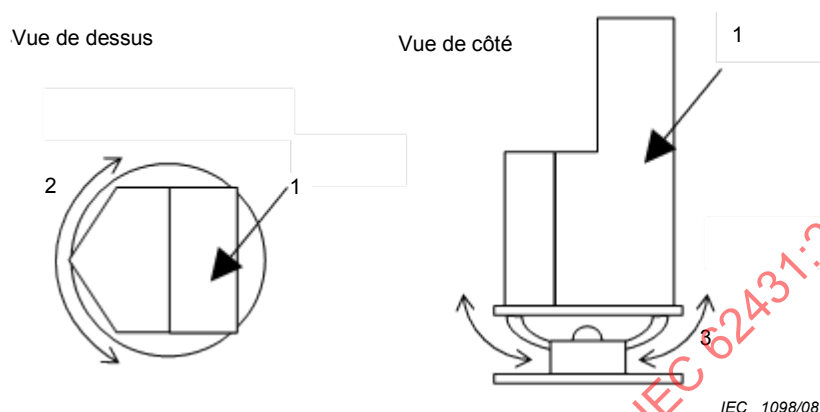
Légende

- 1 EMA pyramidal
- 2 Support de spécimen
- 3 Point de montage du spécimen
- 4 Prisme

Figure 4 – Méthode de montage du spécimen

9.1.3.2 Fonction d'ajustement d'angle en azimuth et en élévation

La Figure 5 représente l'ajustement de l'angle en élévation ainsi que le mécanisme de levage et de descente. Il convient de placer un plateau azimuthal, muni du mécanisme permettant de régler l'angle en azimuth et en élévation, sous le support de spécimen, pour installer le spécimen par rapport à l'antenne d'émission avec précision. Il convient d'avoir une précision de l'angle en azimuth et en élévation d'environ $0,1^\circ$.



Légende

- 1 Support de spécimen
- 2 Fonction d'ajustement de l'angle en azimuth
- 3 Fonction d'ajustement de l'angle en élévation

Figure 5 – Mécanisme d'ajustement de l'azimut et de l'élévation

9.1.4 Montage du spécimen

Pour fixer la plaque de métal de référence et le spécimen au support de spécimen, on peut utiliser un ruban adhésif double face, une simple colle ou une bande de cellophane mince.

9.1.5 Support d'antenne

Il convient d'observer les précautions d'usage pour recouvrir le support à l'aide d'un absorber d'ondes de type pyramidal. En effet, les matériaux qui constituent le support d'une antenne d'émission ne sont pas nécessairement des produits fabriqués à partir de colophane ou de bois.

9.2 Conditions de mesure

9.2.1 Environnement de mesure

La mesure ne doit pas nécessairement être effectuée dans une chambre anéchoïque, qui dépend du gain directionnel de l'antenne. Toutefois, il ne doit pas y avoir d'obstacle dans le faisceau principal de l'antenne à cornet. Si l'obstacle, par exemple un écran de type pyramidal, ne peut pas être retiré, il faut installer des absorbeurs d'ondes électromagnétiques sur le chemin de l'onde électromagnétique. Quand les caractéristiques en incidence oblique sont mesurées, il convient de recouvrir également le sol et le plafond d'absorbeurs d'ondes électromagnétiques de type pyramidal parce que, dans de nombreux cas, le chemin de l'onde électromagnétique réfléchi par ceux-ci a la même longueur que celui issu du spécimen.

9.2.2 Distance de mesure

Lorsque les ondes électromagnétiques sont émises par l'ouverture rectangulaire d'une antenne à cornet, la distance R , qui représente la distance séparant la région de Fresnel de la région de Fraunhofer, c'est-à-dire la frontière entre les deux, peut être choisie

arbitrairement pour satisfaire l'Equation (2), où D_m est la dimension maximale effective de l'ouverture d'antenne, et λ est la longueur d'onde. Le gain directionnel, G_d de l'antenne à cornet est représenté par l'Equation (3). À partir des Equations (2) et (3), on obtient l'expression de la plage de R représentant la région de Fraunhofer par l'Equation (4) en fonction de G_d .

$$R \geq 2D_m^2 / \lambda \quad (2)$$

$$G_d = 4\pi D_m^2 / \lambda^2 \quad (3)$$

$$R \geq G_d \lambda / 2\pi \quad (4)$$

Il est souhaitable de garder la distance entre le spécimen et les antennes supérieure au membre de droite de l'Equation (4), qui dépend de la fréquence de mesure, et qui devient le maximum à la limite inférieure de la plage des fréquences de mesure. L'Annexe H représente la relation entre le gain directionnel de l'antenne et de la distance de mesure.

9.2.3 Taille du spécimen

Lors de l'utilisation de la méthode de l'antenne à cornet, il est recommandé d'utiliser un spécimen de taille supérieure à 100 mm × 100 mm pour la mesure de la réflectivité. Si la taille du spécimen est inférieure à 100 mm × 100 mm, il convient d'effectuer un ajustement assez précis des angles d'azimut et d'élévation.

9.3 Procédures de mesure

Une mesure est effectuée conformément aux étapes suivantes après l'installation des appareils de mesure en se basant sur les conditions décrites au Paragraphe 9.2.

a) Ajuster le système de mesure

- 1) Installer l'antenne d'émission, l'antenne de réception et le support de spécimen en fonction de chaque condition de mesure; incidence normale ou oblique, distance entre le spécimen et les antennes, etc.
- 2) Installer l'antenne d'émission et l'antenne de réception de telle sorte que leur hauteur corresponde à celle du centre du spécimen, puis ajuster l'antenne à cornet de telle sorte que son ouverture soit perpendiculaire au plan horizontal en utilisant un niveau à bulle d'air.
- 3) Installer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen, et ajuster l'angle d'élévation de telle sorte que la plaque de métal de référence soit perpendiculaire au plan horizontal en utilisant un niveau à bulle d'air.
- 4) Régler la position et la direction normale de la plaque de métal de référence de telle sorte que le niveau de réception de l'onde électromagnétique diffusée puisse devenir maximal en faisant tourner la plaque de métal d'un angle de $\pm 10^\circ$ à l'aide d'une plaque tournante azimutale.
- 5) Contrôler la plage dynamique du système de mesure. Mesurer le niveau de réception de la plaque de métal de référence sur la plage des fréquences de mesure. Retirer la plaque de métal de référence et mesurer le niveau de réception. Calculer la plage dynamique, c'est-à-dire la différence entre les deux niveaux en décibels. Effectuer l'étalonnage de l'isolation conformément au Paragraphe 8.2.2 quand la plage dynamique souhaitée n'est pas obtenue.

b) Mesure à l'aide de l'analyseur de réseau scalaire

- 1) Installer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen et mesurer le niveau de réception, R_m (dB).
- 2) Remplacer la plaque de métal de référence par le spécimen sur le support de spécimen et mesurer le niveau de réception, R_a (dB).

- 3) Calculer la réflectivité du spécimen en soustrayant le niveau de réception R_m (dB) du niveau de réception, R_a (dB).
- c) Mesure à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel
 - 1) Installer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen. Mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_m .
 - 2) Retirer la plaque de métal de référence du support de spécimen et mesurer le niveau de réception, Γ_r , sans le spécimen.
 - 3) Placer le spécimen sur le support de spécimen, et mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_a .
 - 4) Soustraire les quantités vectorielles des niveaux de réception Γ_r de Γ_m , et soustraire les ondes non désirées, autres que celles réfléchies directement par l'absorbeur d'ondes électromagnétiques.
 - 5) Transformer les quantités vectorielles en données du domaine temporel à partir des données du domaine fréquentiel, et appliquer une synchronisation temporelle pour la réponse principale à partir de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques seulement.
 - 6) Une fois la synchronisation temporelle appliquée, transformer les réponses en niveau de réception dans le domaine fréquentiel, R_m (dB), venant de la plaque de métal de référence.
 - 7) Soustraire les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_r , des quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_a , venant du spécimen, et soustraire les ondes non désirées.
 - 8) Transformer les quantités vectorielles obtenues en données du domaine temporel à partir des données du domaine fréquentiel, et appliquer une synchronisation temporelle pour la réponse principale seulement.
 - 9) Une fois la synchronisation temporelle appliquée, les réponses sont retransformées en niveau de réception dans le domaine fréquentiel, R_a (dB), venant du spécimen.
 - 10) Calculer la réflectivité du spécimen en soustrayant le niveau de réception R_m (dB) venant de la plaque de métal de référence du niveau de réception, R_a (dB) venant du spécimen.

10 Méthode de l'antenne à lentille diélectrique – méthode du faisceau focalisé

10.1 Présentation

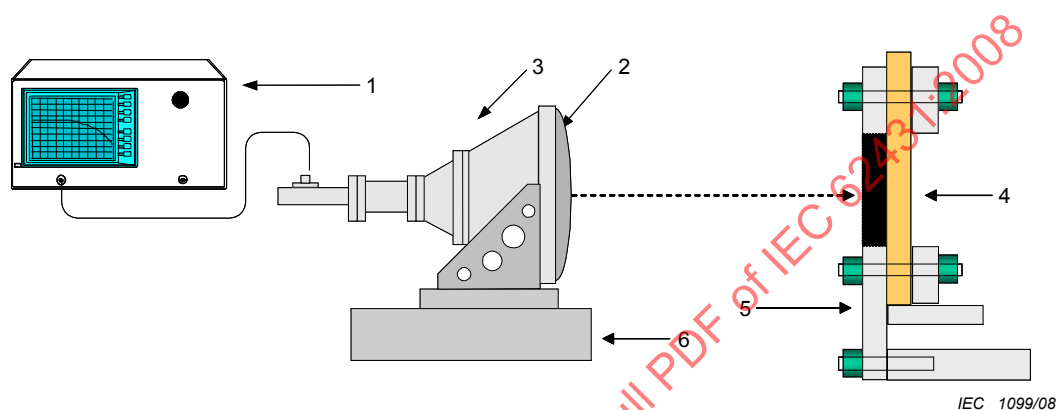
Méthode qui utilise une antenne à cornet de type à faisceau focalisé ayant les caractéristiques suivantes.

- a) Un grand espace de mesure n'est pas nécessairement requis parce que l'onde électromagnétique focalisée a un col de faisceau de plusieurs longueurs d'onde et un front de phase quasiment plat sur le plan focal.
- b) Une plage dynamique suffisante peut facilement être obtenue parce que l'onde électromagnétique ne s'étend pas dans toutes les directions.
- c) Il n'est pas nécessaire que la mesure s'effectue dans une chambre anéchoïque dans les cas où une grande plage dynamique n'est pas requise, cela parce que les ondes électromagnétiques diffusées dans l'espace environnant ne parviennent pas facilement à une antenne de réception.
- d) Quand l'absorbeur d'ondes électromagnétiques n'est pas homogène, la réflectivité de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques peut dépendre de la position de la surface sur laquelle le faisceau d'ondes électromagnétiques est incident, cela parce que le diamètre du col du faisceau de l'onde électromagnétique focalisée est assez petit, environ 3λ à 5λ , sur la surface de l'absorbeur d'ondes électromagnétiques.

10.2 Système de mesure

10.2.1 Antenne d'émission et antenne de réception

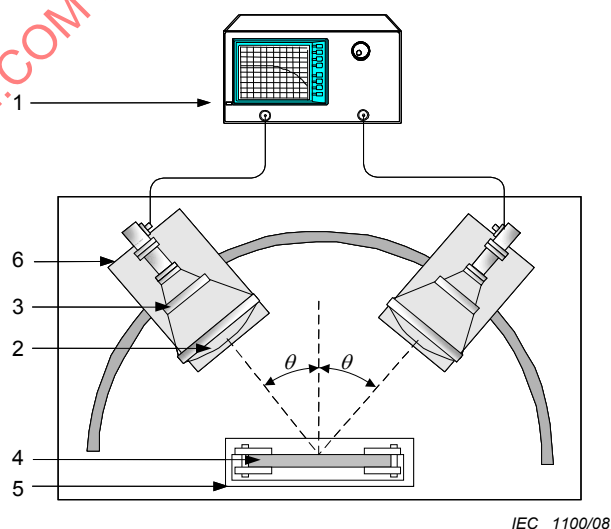
Un schéma fonctionnel du système de mesure est représenté sur la Figure 6 et sur la Figure 7. La Figure 6 et la Figure 7 montrent le système de mesure en incidence normale (vue de profil) et en incidence oblique (vue de dessus) respectivement. Dans le cas en incidence normale, le coefficient de réflexion S_{11} est mesuré en utilisant une seule antenne. Dans le cas en incidence oblique, l'antenne d'émission et l'antenne de réception sont montées de telle sorte que l'angle incident et l'angle de réflexion de l'onde électromagnétique soient égaux ($=\theta$) par rapport à la normale au spécimen. Pour retirer les signaux de réflexion parasites qui ne proviennent pas du spécimen, il est souhaitable d'utiliser un analyseur de réseau vectoriel avec les fonctions de domaine temporel et de synchronisation temporelle.



Légende

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1 Analyseur de réseau vectoriel | 4 Spécimen |
| 2 Lentille diélectrique | 5 Support de spécimen |
| 3 Antenne à corne | 6 Support d'antenne |

Figure 6 – Système de mesure en incidence normale (vue de profil)



Légende

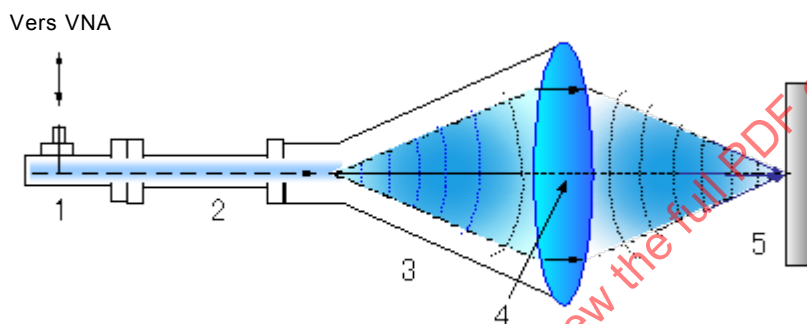
- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1 Analyseur de réseau vectoriel | 4 Spécimen |
| 2 Lentille diélectrique | 5 Support de spécimen |
| 3 Antenne à corne | 6 Support d'antenne |

Figure 7 – Système de mesure en incidence oblique (vue de dessus)

10.2.2 Antenne à cornet à faisceau focalisé

10.2.2.1 Structure d'antenne

La Figure 8 représente la structure d'une antenne avec une lentille diélectrique utilisée dans la méthode du faisceau focalisé, composée d'un transducteur guide d'ondes - coaxial, d'un convertisseur de mode pour convertir une onde électromagnétique à polarisation linéaire en onde électromagnétique à polarisation circulaire, de cornets circulaires et d'une lentille diélectrique de type convexe. Les ondes électromagnétiques émises par l'antenne convergent progressivement au niveau du foyer, là où le col de faisceau minimal de l'onde électromagnétique mesure plusieurs longueurs d'onde. La longueur focale est déterminée par la courbure d'une lentille diélectrique de type convexe et par la permittivité relative du matériau constituant la lentille. L'amplitude de l'onde électromagnétique au niveau du col du faisceau varie selon une loi gaussienne en fonction de la distance radiale depuis l'axe central de la lentille, qui devient maximal au centre du foyer. La phase au niveau du foyer ne dépend pas trop de la distance radiale, parce que le chemin (longueur électrique) traversant le centre de la lentille et le chemin (longueur électrique) traversant la partie périphérique de la lentille sont presque égaux. Certaines spécifications d'une antenne à lentille diélectrique disponible dans le commerce, telles que le diamètre, la longueur focale, le matériau constituant la lentille, etc. sont représentées à l'Annexe C, Article C.2.



Légende

- 1 Transducteur guide d'ondes - coaxial
- 2 Convertisseur de mode
- 3 Antenne à cornet
- 4 Lentille diélectrique
- 5 Spécimen

Figure 8 – Structure d'une antenne à lentille diélectrique

10.2.2.2 Plage de mesures

Un transducteur guide d'ondes - coaxial différent et un convertisseur de mode rectangulaire/circulaire différent doivent être préparés pour les différentes bandes de fréquences, selon la Figure 8.

10.2.2.3 Positionneur d'antenne

Il faut qu'un positionneur d'antenne soit préparé pour effectuer des mesures précises en incidence normale ou oblique, ce qui permet de déplacer l'antenne d'émission et l'antenne de réception le long de l'axe central et de mesurer avec précision la distance du déplacement. En outre, il convient que le support d'antenne permette de faire varier l'angle incident de l'onde électromagnétique par rapport à la direction normale de la surface du spécimen.

10.2.3 Dimensions du spécimen

Il convient que la longueur de chaque côté du spécimen soit au moins trois fois plus grande que le diamètre du plus grand col de faisceau à la plus basse fréquence de la plage des fréquences de mesure.

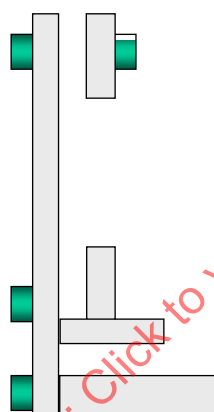
10.2.4 Dimensions de la plaque de métal de référence

Il convient que la plaque de métal de référence ait la même aire et la même forme suivant la projection normale que la surface du spécimen.

10.2.5 Support de spécimen

10.2.5.1 Matériau et dimensions

Un support de spécimen est illustré sur la Figure 9. Le support de spécimen est fait d'un matériau résineux, de plastique de polycarbonate, dont la permittivité est relativement basse, proche de 1, et ne réfléchit pas trop fort les ondes électromagnétiques à la surface du support. Il convient que la structure du support de spécimen soit rigide, sans oscillation, ni vibration. Dans le cas en incidence normale, il convient que la taille soit supérieure à trois fois le col du faisceau, et de préférence aussi grande que possible. Par conséquent, on préfère une structure pouvant accueillir un grand ou un petit spécimen. Dans le cas d'angle d'incidence oblique θ , la taille du support de spécimen est plus grande que dans le cas en incidence normale, parce que l'aire de la surface du spécimen irradié est plus grande que dans le cas en incidence normale d'un facteur $1/\cos\theta$.



Légende

- 1 Spécimen
- 2 Châssis en polycarbonate
- 3 Vis et écrou en polycarbonate

Figure 9 – Structure du support de spécimen

10.2.5.2 Ajustement de l'angle d'azimut et de l'angle d'élévation

Pour installer le spécimen avec précision, il convient que le support de spécimen soit doté d'une fonction permettant de modifier l'angle d'azimut et l'angle d'élévation. L'angle d'azimut et l'angle d'élévation sont ajustés sur les valeurs les plus appropriées de telle sorte que le niveau de réception soit maximal lorsqu'une plaque de métal de référence remplace le spécimen.

10.2.6 Méthode de fixation du spécimen et de la plaque de métal de référence

Il convient de fixer fermement les quatre côtés du spécimen ou de la plaque de métal de référence sur le support de spécimen pour éviter toute courbure.

10.3 Procédures de mesure

Les mesures sont menées par rapport aux étapes suivantes, après l'installation des appareils de mesure, en prenant comme base les conditions décrites au Paragraphe 9.2.

a) Ajuster le système de mesure

- 1) Régler correctement la position du support de spécimen de telle sorte que la surface du spécimen soit juste au point focal d'une antenne à lentille diélectrique.
- 2) D'autres réglages du système de mesure sont effectués conformément au Paragraphe 9.3.1.

b) Mesure à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel

- 1) Régler l'analyseur de réseau vectoriel pour mesurer S_{11} dans le cas de la mesure en incidence normale et S_{21} dans le cas de la mesure en incidence oblique.
- 2) Installer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen. Mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_m .
- 3) Retirer la plaque de métal de référence du support de spécimen et mesurer le niveau de réception, Γ_r , sans le spécimen.
- 4) Soustraire les quantités vectorielles des niveaux de réception Γ_r de Γ_m et soustraire les ondes non désirées autres que celles réfléchies directement par la plaque de métal de référence.
- 5) Transformer les quantités vectorielles en données du domaine temporel à partir des données du domaine fréquentiel, et appliquer une synchronisation temporelle pour la réponse principale à partir de la plaque de métal de référence seulement.
- 6) Une fois la synchronisation temporelle appliquée, transformer les réponses en niveau de réception du domaine fréquentiel, R_m (dB) de la plaque de métal de référence.
- 7) Placer le spécimen sur le support de spécimen et mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_a .
- 8) Retirer le spécimen du support de spécimen et mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_r .
- 9) Soustraire les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_r , des quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_a , du spécimen, et soustraire les ondes non désirées.
- 10) Transformer les quantités vectorielles obtenues en données du domaine temporel à partir des données du domaine fréquentiel, et appliquer une synchronisation temporelle pour la réponse principale seulement.
- 11) Une fois la synchronisation temporelle appliquée, ces réponses sont retransformées en données du domaine fréquentiel. Soit R_a (dB) le niveau de réception du spécimen.
- 12) Calculer la réflectivité du spécimen en soustrayant le niveau de réception R_m (dB) de la plaque de métal de référence du niveau de réception, R_a (dB) du spécimen.

c) Mesure à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel et sa fonction d'étalonnage

Les types et les détails de l'étalonnage de l'analyseur de réseau sont décrits à l'Annexe D.

- 1) Régler l'analyseur de réseau vectoriel pour mesurer S_{11} dans le cas de la mesure en incidence normale et S_{21} dans le cas de la mesure en incidence oblique.
- 2) Choisir le type d'étalonnage: « étalonnage de l'isolation et de la réponse de la réflexion S_{11} » pour le mode S_{11} , et « étalonnage de l'isolation et de la réponse de la transmission S_{21} » ou « étalonnage de la réponse de la transmission S_{21} » pour le mode S_{21} . Pour le mode S_{21} , les ondes non désirées sont généralement faibles. On peut donc choisir « l'étalonnage de la réponse de la transmission S_{21} », qui n'inclut pas l'étalonnage de l'isolation. Dans ce cas, l'étape d) est omise.

- 3) Installer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen. Mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_m . Pour le mode S_{11} , l'analyseur de réseau vectoriel est étalonné avec « Court », et pour le mode S_{21} , l'analyseur de réseau est étalonné avec « Traversant ».
- 4) Retirer la plaque de métal de référence du support de spécimen. Mesurer les quantités vectorielles du niveau de réception, Γ_r , dans le cas où il n'y a pas de spécimen dans le support de spécimen. Pour le mode S_{11} et le mode S_{21} , l'analyseur de réseau est étalonné avec « Isolation ».
- 5) Finir une série d'étalonnages en activant la fonction d'étalonnage de l'analyseur de réseau vectoriel.
- 6) Placer le spécimen sur le support de spécimen et mesurer le niveau de réception.
- 7) Transformer les quantités vectorielles obtenues en f) en données du domaine temporel à partir des données du domaine fréquentiel, et appliquer une synchronisation temporelle pour la réponse principale seulement.
- 8) Une fois la synchronisation temporelle appliquée, ces réponses sont retransformées en données du domaine fréquentiel. Soit R_a (dB) le niveau de réception du spécimen.

11 Méthode de l'antenne à lentille diélectrique – méthode du faisceau parallèle

11.1 Principe

11.1.1 Présentation

Dans la méthode du faisceau parallèle, l'onde électromagnétique, émise par l'antenne d'émission, est déviée et se propage sous la forme d'un faisceau parallèle à l'aide d'une lentille diélectrique pour ondes électromagnétiques, et l'onde émise frappe le spécimen. Le niveau des ondes électromagnétiques réfléchies est mesuré à l'aide d'une antenne à cornet après la transmission de ces ondes à travers une lentille diélectrique.

Cette méthode a les caractéristiques suivantes.

- a) Une grande salle de mesure n'est généralement pas nécessaire parce que le front équiphase sphérique de l'onde électromagnétique d'une antenne à cornet peut être converti en un front de phase quasiment plat près du point focal.
- b) Une chambre anéchoïque n'est pas toujours nécessaire parce qu'une plage dynamique est généralement suffisante; en effet, les ondes électromagnétiques diffusées dans l'espace environnant n'entrent pas facilement dans les ports de réception.
- c) En incidence oblique, il est possible d'effectuer les mesures avec un grand angle incident parce que la lentille diélectrique oriente les ondes électromagnétiques dans un faisceau quasiment parallèle.

11.1.2 Faisceau d'ondes électromagnétiques parallèles formé à l'aide d'une lentille à ondes électromagnétiques

La longueur d'onde des ondes millimétriques, plusieurs millimètres, est généralement bien plus petite que la distance entre l'antenne et le spécimen. Une lentille pour ondes électromagnétiques peut être comme une lentille optique en se basant sur la théorie des rayons. Les lentilles pour ondes électromagnétiques typiques existent sous la forme de lentilles diélectriques, de lentilles à plaque de métal, etc. La Figure 10 montre l'effet de l'utilisation d'une lentille diélectrique. L'erreur de phase secondaire sur la surface du spécimen peut être compensée, et on peut obtenir une onde électromagnétique de front équiphase plus plat et de densité d'énergie élevée, que l'on appellera ci-après faisceau parallèle, si une lentille diélectrique est placée devant une antenne à cornet. Si une lentille diélectrique est utilisée, les lobes latéraux sont supprimés en raison de la faible puissance rayonnée sur la partie périphérique d'une lentille diélectrique. L'antenne à cornet avec une lentille diélectrique a les caractéristiques suivantes.

- a) Les lobes latéraux peuvent être supprimés parce qu'il n'y a pas d'obstacle dans le sens direct entre une antenne à cornet et une lentille diélectrique.
- b) La réflexion par une lentille peut être facilement réduite en recouvrant la surface de la lentille d'un film anti-réflexion.

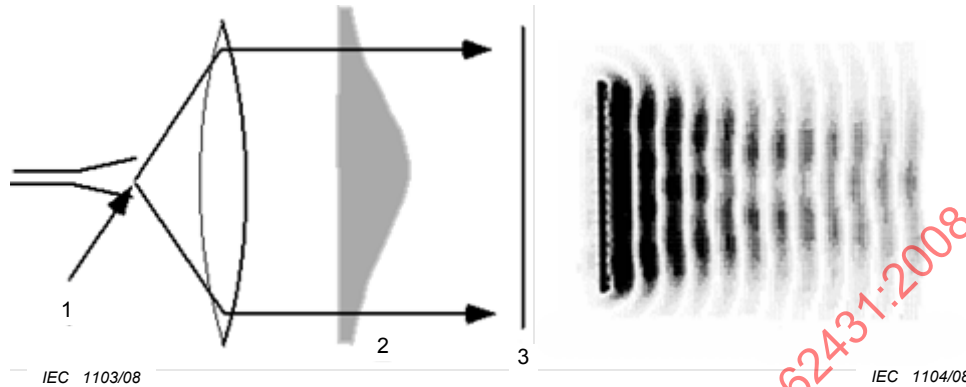


Figure 10a – Construction

Figure 10b – Plan équiphase

Légende

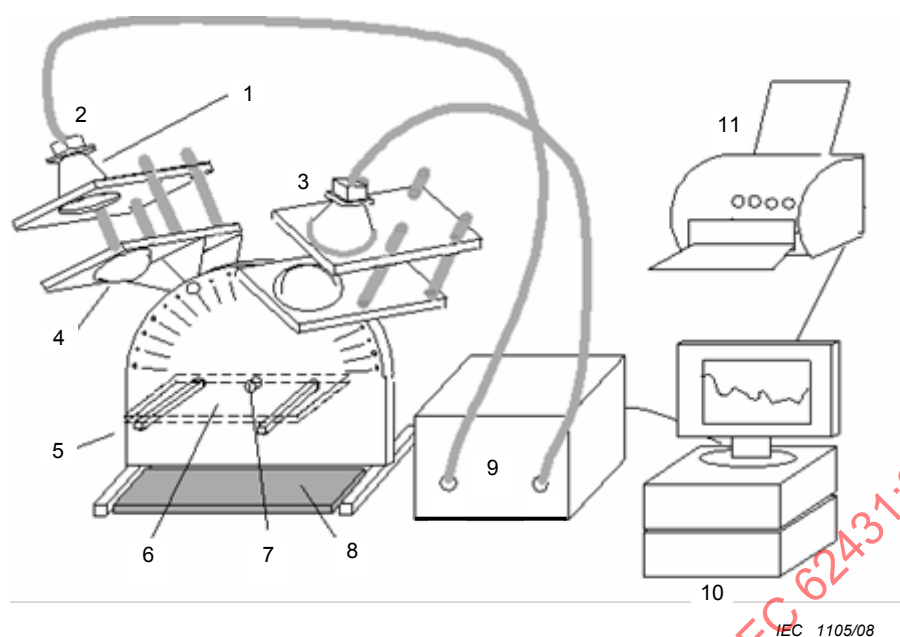
- 1 Source de rayonnement d'ondes électromagnétiques
- 2 Distribution du champ
- 3 Modèle de plan équiphase

Figure 10 – Propagation d'ondes électromagnétiques à l'aide d'une antenne à cornet et d'une lentille diélectrique

11.2 Système de mesure

11.2.1 Composition du système de mesure

Un exemple de système de mesure est représenté sur la Figure 11. La surface du spécimen reste normale au plan d'incidence. La structure du support de spécimen permet d'effectuer des mesures en incidence oblique. Les directions des deux antennes sont ajustées de telle sorte que l'angle incident et l'angle de réflexion peuvent être égaux en rendant maximal le niveau de réflexion de l'antenne de réception.



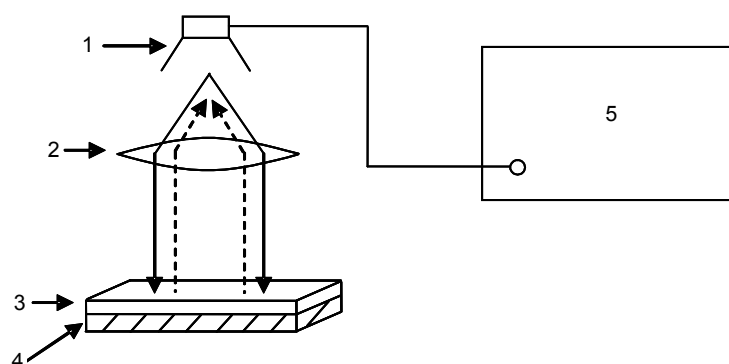
Légende

- | | |
|-------------------------|--|
| 1 Antenne à cornet | 7 Arbre rotatif |
| 2 Antenne d'émission | 8 Absorbeur d'ondes électromagnétiques |
| 3 Antenne de réception | 9 VNA/SNA |
| 4 Lentille diélectrique | 10 Ordinateur personnel |
| 5 Support de spécimen | 11 Imprimante |
| 6 Specimen | |

Figure 11 – Schéma fonctionnel du système de mesure

11.2.1.1 Incidence normale

La Figure 12 représente le schéma fonctionnel d'un système de mesure en incidence normale. Une lentille diélectrique et une antenne à cornet sont utilisées. Le coefficient de réflexion S_{11} est mesuré en utilisant un analyseur de réseau. Pour supprimer les réflexions multiples, on utilise un analyseur de réseau vectoriel doté d'une fonction dans le domaine temporel afin d'extraire uniquement l'onde réfléchie avec la largeur de synchronisation temporelle nécessaire.



IEC 1106/08

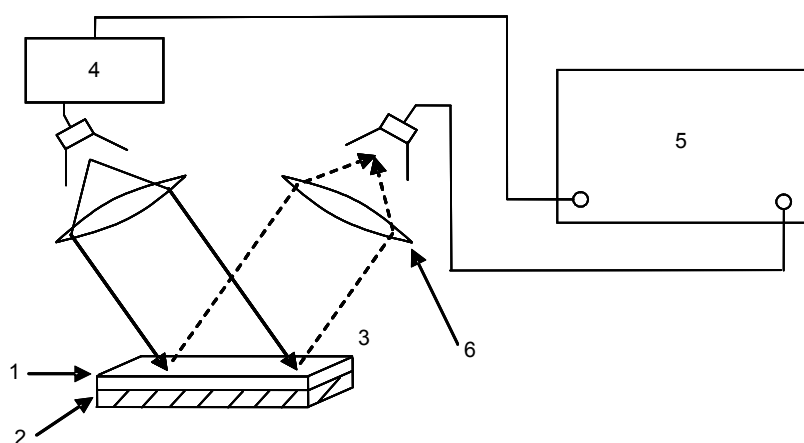
Légende

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1 Antenne à cornet | 4 Plaque de métal |
| 2 Lentille diélectrique | 5 VNA |
| 3 Plan d'étalonnage | |

Figure 12 – Système de mesure en incidence normale

11.2.1.2 Incidence oblique

La Figure 13 représente le schéma fonctionnel d'un système de mesure en incidence oblique. Le coefficient de transmission S_{21} est mesuré en utilisant les deux lentilles diélectriques dans l'antenne d'émission et dans l'antenne de réception. Dans le cas en incidence oblique, les ondes électromagnétiques parasites diminuent en raison de la diffusion de l'onde électromagnétique par les réflexions multiples. Par conséquent, les fonctions de synchronisation et de domaine temporel de l'analyseur de réseau vectoriel ne sont généralement pas nécessaires. Pour cette raison, on peut également utiliser un analyseur de réseau scalaire. Toutefois, pour effectuer des mesures très précises, il est nécessaire d'extraire les ondes réfléchies provenant uniquement du spécimen en utilisant les fonctions de synchronisation et de domaine temporel de l'analyseur de réseau vectoriel.



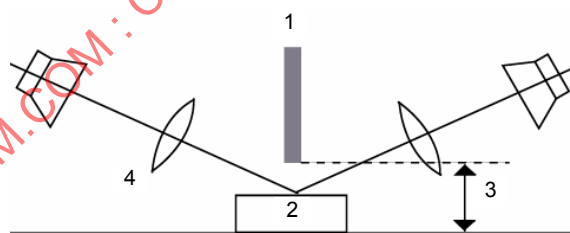
IEC 1107/08

Légende

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| 1 Plan d'étalonnage | 4 Module d'ondes millimétriques |
| 2 Plaque de métal | 5 VNA/SNA |
| 3 Specimen | 6 Lentille diélectrique |

Figure 13 – Système de mesure en incidence oblique

Pour des angles incidents supérieurs à 70° , outre les ondes correctement réfléchies sur le spécimen, un couplage direct entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception apparaît. Dans ce cas, il convient d'utiliser une plaque écran constituée d'un absorbeur électromagnétique comme cela est représenté sur la Figure 14. Il convient d'effectuer l'étalonnage du système en incluant l'étalonnage de l'isolation. Voir l'Annexe D.



IEC 1108/08

Légende

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1 Plaque écran pour ondes électromagnétiques | 3 Distance sans couplage direct |
| 2 Specimen | 4 Lentille diélectrique |

Figure 14 – Position d'une plaque écran**11.2.2 Antenne à lentille diélectrique****11.2.2.1 Diamètre de la lentille diélectrique et rugosité de la surface**

Le diamètre de la lentille est choisi supérieur à 10 fois la longueur d'onde. La rugosité de la surface doit être inférieure à $1/16 \lambda$. Un exemple de spécification ou de taille de lentille diélectrique est donné à l'Annexe C.

11.2.2.2 Antenne à cornet

Une antenne à cornet est placée de telle sorte que le point source virtuel de l'antenne rejoigne le point focal d'une lentille diélectrique. La position de la source virtuelle est illustrée à l'Annexe C.

11.2.2.3 Distance entre le spécimen et la lentille diélectrique

La distance entre un spécimen et une lentille est de 2,5 à 5 fois plus grande que le diamètre de la lentille diélectrique afin d'éviter d'avoir la région de champ proche des ondes électromagnétiques au niveau de la lentille diélectrique.

11.3 Spécimen

11.3.1 Généralités

Dans le cas où des lentilles diélectriques sont utilisées, l'onde transmise n'est pas une onde plane, et le front équiphasé n'est pas plan, mais il est incurvé s'il n'est pas situé sur l'axe central, ce qui entraîne une diminution de l'amplitude du champ de l'onde électromagnétique. Si la différence de phase maximale de l'onde électromagnétique à la surface du spécimen est inférieure à $22,5^\circ$, c'est-à-dire $1/16$ de la longueur d'onde, la diminution du champ de l'onde électromagnétique est généralement inférieure à -10 dB. L'erreur de réflectivité peut être petite pour un spécimen plus grand.

11.3.2 Plaque de métal de référence

Il convient de préparer une plaque de métal en aluminium ou en cuivre de même taille que le spécimen.

11.3.3 Taille du spécimen

Il faut que chaque côté du spécimen soit plus large que 10λ , où λ est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique. Dans le cas en incidence oblique, il est souhaitable que la distance du chemin entre l'onde incidente et l'onde réfléchie soit plus grande pour un grand angle incident. Afin de supprimer les réflexions non désirées, des absorbeurs d'ondes électromagnétiques sont souvent placés sur la face arrière de la plaque de métal de référence et du spécimen.

11.4 Procédures de mesure

11.4.1 Incidence normale

Quand la mesure est réalisée en incidence normale, les étapes suivantes doivent être suivies.

- Préparer un câble coaxial qui raccorde le port d'émission de l'analyseur de réseau vectoriel et l'antenne à cornet. Raccorder le câble coaxial au port d'émission de l'analyseur de réseau vectoriel et raccorder l'autre extrémité du câble à l'antenne à cornet.
- Placer la plaque de métal de référence sur la surface du spécimen dont chaque côté est plus grand que le diamètre de la lentille diélectrique et étalonner la réponse en utilisant « Short » uniquement. Optimiser ensuite le temps de synchronisation. Faire tourner et ajuster le bâti du spécimen de telle manière que la réflexion sur la plaque de métal soit maximale, puis mesurer la réflectivité de la plaque de métal de référence, R_m (dB).
- Placer le spécimen de telle sorte que la surface supérieure soit à la même hauteur que le plan de référence, et mesurer la réflectivité du spécimen, R_a (dB). Calculer la réflectivité du spécimen en soustrayant le niveau de réception R_m (dB) de la plaque de métal de référence du niveau de réception, R_a (dB), du spécimen.

NOTE Une antenne à cornet est utilisée pour des mesures rigoureuses en incidence normale. Toutefois, on considère généralement une incidence oblique avec un angle incident inférieur à approximativement 5° comme étant identique à une incidence normale.

11.4.2 Incidence oblique

11.4.2.1 Mesure à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel

Quand la mesure est réalisée en incidence oblique et à l'aide d'un VNA, les étapes suivantes doivent être suivies.

- Ajuster correctement la direction spatiale d'une antenne en fonction de la polarisation des ondes électriques transverses ou des ondes magnétiques transverses.
- Placer l'antenne d'émission et l'antenne de réception pour que l'angle incident et l'angle de réflexion soient égaux, respectivement, et raccorder les câbles coaxiaux à chaque antenne à cornet. Placer la plaque de métal de référence à la même hauteur que la surface du spécimen, et procéder à un étalonnage « Traversant ». Il convient de noter qu'il faut que chaque côté de la plaque de métal soit plus grand que le diamètre de la lentille diélectrique.
- Optimiser la largeur et le temps de synchronisation pour mesurer la réflectivité de la plaque de métal de référence. Faire tourner le bâti du spécimen de telle manière que la réflexion sur la plaque de métal de référence soit maximale, et mesurer la réflectivité de la plaque de métal de référence, R_m (dB). Si une plus grande plage dynamique est nécessaire, il convient d'étalonner en « isolation ». Voir Annexe F.
- Placer le spécimen de telle sorte que sa surface supérieure soit à la même hauteur que le plan de référence, et mesurer la réflexion, R_a (dB).
- Calculer la réflectivité du spécimen en soustrayant le niveau de réception, R_m (dB), de la plaque de métal de référence du niveau de réception, R_a (dB), du spécimen.

11.4.2.2 Mesure à l'aide d'un analyseur de réseau scalaire

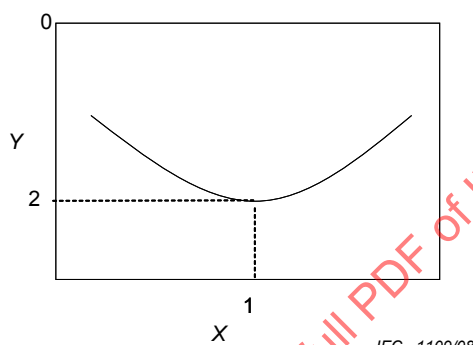
Quand la mesure est réalisée en incidence oblique et à l'aide d'un SNA, les étapes suivantes doivent être suivies.

- Ajuster la direction spatiale de l'antenne en fonction de la polarisation des ondes électriques transverses ou des ondes magnétiques transverses.
- Raccorder un câble coaxial au port d'émission de l'analyseur de réseau scalaire et à l'antenne d'émission, et raccorder un autre câble coaxial au port de réception de l'analyseur de réseau scalaire et à l'antenne de réception.
- Fixer l'antenne d'émission et l'antenne de réception de telle sorte que l'angle incident et l'angle de réflexion soient égaux. Raccorder les câbles coaxiaux à chaque antenne à cornet. Placer la plaque de métal de référence sur le support de spécimen de telle sorte que sa hauteur soit la même que celle de la surface du spécimen. Placer l'analyseur de réseau scalaire en état de mesure d'émission. Il convient de noter qu'il faut que chaque côté de la plaque de métal de référence soit plus grand que le diamètre de la lentille diélectrique.
- Ajuster le support de spécimen de telle sorte que le niveau du signal réfléchi de l'onde électromagnétique provenant de la plaque de métal de référence soit maximal. Étalonner l'analyseur de réseau scalaire.
- Placer le spécimen sur le support de spécimen de telle sorte que la surface supérieure soit à la même hauteur que la plaque de métal de référence précédente. Mesurer la réflectivité du spécimen, R_a (dB).

12 Compte rendu d'essai

- Il convient de rédiger un compte rendu d'essai afin de conserver les résultats expérimentaux sous forme écrite où les conditions expérimentales sont représentées par les termes suivants.
- Dans le compte rendu d'essai, indiquer le type de produit du spécimen et son nom, si possible. Le type de produit peut inclure le matériau, la forme et la composition des couches. Inclure les dimensions du spécimen.

- c) Il convient de représenter les résultats de mesure de la réflectivité du spécimen dans un tableau ou un graphique. En outre, les résultats de la mesure sur la plage dynamique doivent également être spécifiés. Se reporter à la Figure 15.
- d) Il est nécessaire de présenter la liste des appareils d'essais utilisés dans le compte-rendu d'essai. Il est également souhaitable de mentionner le modèle du fabricant et la date du dernier étalonnage.
- e) La réflectivité du spécimen s'exprime en dB. L'unité de fréquence s'exprime en GHz.
- f) Décrire la méthode de mesure de la réflectivité du spécimen et les procédures de mesure.
- g) Décrire l'environnement de mesure de la réflectivité du spécimen. Préciser également si les mesures sont prises dans une chambre anéchoïque ou dans une salle. En outre, il convient d'indiquer les conditions de mesure (plage de fréquences, nombre de points, moyenne) de l'analyseur de réseau.



Légende

- X Fréquence [GHz]
- Y Réflectivité [dB]
- 1 Fréquence adaptée f_m
- 2 Réflectivité à f_m

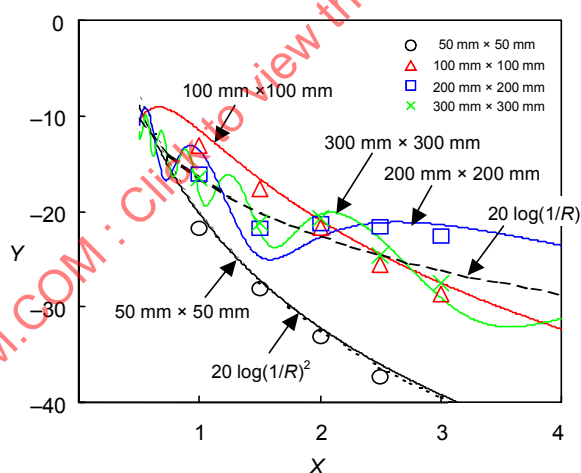
Figure 15 – Eléments à mentionner dans un compte rendu d'essai

Annexe A (informative)

Réflexion et diffusion sur une plaque de métal – Méthode de l'antenne à cornet

A.1 Caractéristiques de la réflexion

La Figure A.1 représente la réflectivité des plaques de métal en fonction de la distance depuis l'antenne pour plusieurs tailles de plaques d'aluminium allant de 50 mm × 50 mm à 300 mm × 300 mm avec une épaisseur de 2 mm, à 40 GHz. La Figure A.2 représente la réflectivité quand les plaques sont placées à 2 m de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception. La réflectivité est définie comme le niveau des ondes électromagnétiques reçues par l'antenne de réception et transmises par l'antenne d'émission sur un chemin direct de 2 m de long. La réflectivité de plaques de métal de différentes tailles a été mesurée. La courbe, qui a été adaptée aux données mesurées, a été calculée selon la théorie de la diffraction de Kirchhoff et Huygens. La relation entre la réflectivité de la plaque de métal de référence et la distance de l'antenne d'émission peut être bien expliquée par la théorie de la diffraction de Kirchhoff et Huygens. Les données de réflectivité exactes ne sont pas suffisantes lorsque la taille du spécimen est inférieure à $\sqrt{(d_1 d_2 \lambda / (d_1 + d_2))}$ même si les côtés de la plaque de métal sont plus longs que la longueur d'onde en espace libre λ . Par conséquent, il convient de sélectionner avec précaution la distance de mesure, c'est-à-dire la distance entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception.



IEC 1110/08

Légende

- X Distance de mesure (m)
Y Niveau de réflexion (dB)

**Figure A.1 – Réflexion sur la plaque de métal de référence en fonction
de la distance de mesure entre l'antenne et la plaque de métal**