

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Cable assemblies, cables, connectors and passive microwave components –
Screening attenuation measurement by the reverberation chamber method**

**Câbles, cordons, connecteurs et composants hyperfréquence passifs – Mesure
de l'atténuation d'écran par la méthode de la chambre réverbérante**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 1999 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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

**Cable assemblies, cables, connectors and passive microwave components –
Screening attenuation measurement by the reverberation chamber method**

**Câbles, cordons, connecteurs et composants hyperfréquence passifs – Mesure
de l'atténuation d'écran par la méthode de la chambre réverbérante**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

ICS 33.120.10; 33.120.30

ISBN 2-8318-5737-6

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Description de base de la méthode en chambre réverbérante	10
3 Mesure de l'atténuation d'écran d'un composant en essai (DUT)	12
4 Description du montage d'essai	12
4.1 Chambre réverbérante	12
4.2 Variateur de mode	12
4.3 Antennes	12
4.4 Equipement d'essai	14
4.5 Dispositif en essai	16
4.6 Dispositifs de liaison	16
5 Procédure de mesure	18
5.1 Généralités	18
5.2 Mesure du composant en essai	18
5.3 Mesure des pertes d'insertion de la cavité	18
5.4 Vérification du système d'essai	20
5.5 Vitesse de rotation du variateur de mode	22
5.6 Fréquence d'essais	22
5.7 Rapport d'ondes stationnaires (ROS)	22
6 Evaluation des résultats d'essai	22
6.1 Atténuation d'écran	22
6.2 Relation entre les paramètres d'impédance de transfert et l'atténuation d'écran	24
6.3 Champ électromagnétique dans l'environnement du composant en essai	26
Annexe A (informative) Description de la chambre réverbérante	28
Annexe B (informative) Description du variateur de mode	30
Annexe C (informative) Exemple de calibre	34
Annexe D (informative) Relation entre l'impédance de transfert et l'atténuation d'écran	38
Bibliographie	42
Figure 1 – Exemple de dispositif d'essai	14
Figure B.1 – Schéma de construction du variateur de mode	32
Figure B.2 – Détails de la bride de passage pour piloter le variateur de mode à travers la paroi de la chambre	32
Figure C.1 – Détails de construction de base	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
Clause	
1 Scope.....	11
2 Basic description of the reverberation chamber method.....	11
3 Measurement of the screening attenuation of the device under test (DUT).....	13
4 Description of the test set-up	13
4.1 Reverberation chamber.....	13
4.2 Mode stirrer	13
4.3 Antennas	13
4.4 Test equipment.....	15
4.5 Device under test (DUT)	17
4.6 Linking devices.....	17
5 Measurement procedure	19
5.1 General	19
5.2 Measurement of the DUT	19
5.3 Measurement of the insertion loss of the cavity	19
5.4 Control of the test set-up	21
5.5 Revolution speed of the mode stirrer	23
5.6 Test frequencies.....	23
5.7 Voltage standing wave ratio (VSWR).....	23
6 Evaluation of the test results	23
6.1 Screening attenuation.....	23
6.2 Relationship between transfer impedance parameters and screening attenuation	25
6.3 Electromagnetic field surrounding the DUT	27
Annex A (informative) Design of the reverberation chamber.....	29
Annex B (informative) Design of the mode stirrer.....	31
Annex C (informative) Example of a calibrator	35
Annex D (informative) Relationship between transfer impedance and screening attenuation	39
Bibliography	43
Figure 1 – Example of a test set-up	15
Figure B.1 – Construction diagram for mode-stirrer.....	33
Figure B.2 – Details of collet for mounting tuner shaft to drive motor through the wall of the test chamber	33
Figure C.1 – Basic construction details	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES, CORDONS, CONNECTEURS ET COMPOSANTS HYPERFRÉQUENCE PASSIFS – MESURE DE L'ATTÉNUATION D'ÉCRAN PAR LA MÉTHODE DE LA CHAMBRE RÉVERBÉRANTE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 61726 a été établie par le sous-comité 46A de la CEI: Câbles coaxiaux, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, et accessoires pour communications et signalisation.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition, qui a été publiée en tant que rapport technique de type 3 en 1995. Elle constitue une révision technique et possède maintenant le statut de norme internationale.

Cette version bilingue, publiée en 2001-04, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est basé sur les documents 46A/356/FDIS et 46A/359/RVD. Le rapport de vote 46A/359/RVD 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 conformément aux Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CABLE ASSEMBLIES, CABLES, CONNECTORS AND
PASSIVE MICROWAVE COMPONENTS –
SCREENING ATTENUATION MEASUREMENT BY THE
REVERBERATION CHAMBER METHOD**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61726 has been prepared by subcommittee 46A: Coaxial cables, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, r.f. connectors, and accessories for communication and signalling.

This second edition cancels and replaces the first edition, which was issued as a type 3 technical report in 1995. It constitutes a technical revision and now has the status of an International Standard.

This bilingual version, published in 2001-04, corresponds to the English version.

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

FDIS	Report on voting
46A/356/FDIS	46A/359/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Les annexes A, B, C et D ne sont données qu'à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005.
A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61726:1999

Annexes A, B, C and D are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

Withdrawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61726:1999

INTRODUCTION

Les exigences des composants électroniques modernes ont révélé le besoin d'établir une méthode d'essai de l'atténuation d'écran des composants hyperfréquence sur toute leur bande de fréquences d'utilisation. Des méthodes d'essais adaptées existent pour les basses fréquences et pour les composants de forme régulière. Ces méthodes d'essai sont décrites dans les spécifications de produits correspondantes de la CEI.

Une nouvelle méthode d'essai est devenue nécessaire pour les fréquences supérieures et pour les composants de forme irrégulière. Une telle méthode d'essai est décrite dans la présente norme.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61726:1999

Withd 2020

INTRODUCTION

The requirements of modern electronic equipment have indicated a demand for a method of testing screening attenuation of microwave components over their whole frequency range. Convenient test methods exist for low frequencies and components of regular shape and these test methods are described in the relevant IEC product specifications.

For higher frequencies and for components of irregular shape a new test method has become necessary and such a test method is described in this International Standard.

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61726:1999

Withd 2020

CÂBLES, CORDONS, CONNECTEURS ET COMPOSANTS HYPERFRÉQUENCE PASSIFS –

MESURE DE L'ATTÉNUATION D'ÉCRAN PAR LA MÉTHODE DE LA CHAMBRE RÉVERBÉRANTE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit la mesure de l'atténuation d'écran par la méthode d'essai en chambre réverbérante appelée également quelquefois «méthode à variateur de mode». Elle convient pour pratiquement n'importe quel type de composants hyperfréquence et n'a, en théorie, pas de limitation supérieure de fréquence. Elle est simplement limitée vers les fréquences basses du fait de la taille de l'équipement d'essai qui est dépendant de la fréquence. Elle ne constitue qu'une des méthodes de mesure de l'atténuation d'écran.

Pour les besoins de la présente norme, des exemples de composants hyperfréquence sont les guides d'ondes, les déphaseurs, les diplexeurs/multiplexeurs, les répartiteurs/combineurs de puissance, etc.

2 Description de base de la méthode en chambre réverbérante

La méthode en chambre réverbérante est utilisée pour la mesure de l'atténuation d'écran des composants hyperfréquences. Elle consiste à exposer le composant en essai (DUT) à un champ électromagnétique quasi homogène et isotrope et ensuite à mesurer le signal résiduel dans le dispositif.

Pour cela, on utilise une cage de Faraday qui fonctionne comme une cavité surdimensionnée en termes de longueur d'ondes et qui présente un facteur de qualité élevé. Ses conditions aux limites sont agitées de façon continue par une surface réflective en rotation appelée «variateur de mode», montée à l'intérieur de la chambre, et qui permet au champ d'approcher les conditions d'homogénéité et d'isotropie durant chacune de ses révolutions.

Le signal électromagnétique est injecté à l'intérieur de la chambre au moyen d'une antenne d'injection.

Une antenne de référence permet de mesurer l'intensité du champ électromagnétique à l'intérieur de la chambre. La perte d'insertion de la cavité est le rapport entre la puissance injectée (antenne d'injection) et la puissance reçue (antenne de référence). La perte d'insertion dépend fortement de la fréquence. Elle dépend également du facteur de qualité de la cavité.

Il a été montré qu'à cause de l'isotropie du champ toute antenne placée à l'intérieur de la cavité se comporte comme si son gain était égal à l'unité [1]¹⁾. Par conséquent, on n'observe aucun effet directionnel. L'atténuation d'écran des composants électriquement courts est reliée directement aux paramètres habituels de l'impédance de transfert (Z_t et Z_f). Lorsque le composant n'est plus électriquement court, l'atténuation d'écran peut encore être reliée à Z_t et Z_f dans quelques cas simples (fuite uniformément répartie ou fuite distribuée de manière périodique). Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des fonctions de sommation dérivées de la théorie des réseaux d'antennes.

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

CABLE ASSEMBLIES, CABLES, CONNECTORS AND PASSIVE MICROWAVE COMPONENTS –

SCREENING ATTENUATION MEASUREMENT BY THE REVERBERATION CHAMBER METHOD

1 Scope

This International Standard describes the measurement of screening attenuation by the reverberation chamber test method, sometimes named mode stirred chamber, suitable for virtually any type of microwave component and having no theoretical upper frequency limit. It is only limited toward low frequencies due to the size of the test equipment, which is frequency dependent and is only one of several methods of measuring screening attenuation.

For the purpose of this standard, examples of microwave components are waveguides, phase shifters, diplexers/multiplexers, power dividers/combiners etc.

2 Basic description of the reverberation chamber method

The reverberation chamber method for measurement of the screening attenuation of microwave components consists of exposing the device under test (DUT) to an almost homogeneous and isotropic electromagnetic field and then measuring the signal level induced into the device.

These conditions are achieved by the use of a shielded enclosure, which acts as an oversized cavity (in terms of wavelength), with a high quality factor. Its boundary conditions are continuously agitated by a rotating reflective surface (mode stirrer), mounted within the chamber, which enables the field to approach homogeneous and isotropic conditions during one revolution.

Electromagnetic power is fed to the chamber by means of an input or transmitting antenna.

The strength of the field inside the chamber is measured through a reference antenna. The ratio of the injected power (input antenna) to the received power (reference antenna) is the insertion loss of the cavity. The insertion loss is strongly frequency dependent and is also dependent on the quality factor of the cavity.

It has been shown that, due to the isotropic field, any antenna placed inside the cavity behaves as if its gain was unity [1]¹⁾, therefore no directional effect is to be expected. If the device under test is electrically short, its screening attenuation will be directly related to usual transfer parameters (Z_t and Z_f). If the device under test is not electrically short the screening attenuation may still be related to Z_t and Z_f in some simple cases (evenly distributed leakage, periodically distributed leakage) using summing functions derived from antenna network theory.

¹⁾ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

3 Mesure de l'atténuation d'écran d'un composant en essai (DUT)

Pour mesurer l'atténuation d'écran d'un composant, on compare la puissance du champ électromagnétique dans l'environnement du composant à celle induite à l'intérieur du composant. L'efficacité d'écran est alors définie comme:

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{REF}} \right) \quad (1)$$

ou

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{INJ}} \right) - \Delta_{ins} \quad (2)$$

où

P_{DUT} est la puissance couplée au composant en essai (W);

P_{REF} est la puissance couplée à l'antenne de référence (W);

P_{INJ} est la puissance injectée à l'intérieur de la chambre (W);

Δ_{ins} sont les pertes d'insertion de la chambre en décibels (dB).

4 Description du montage d'essai

4.1 Chambre réverbérante

La chambre réverbérante est une cage de Faraday qui a n'importe quelle forme, à condition que sa plus petite dimension soit supérieure à trois longueurs d'onde à la fréquence minimum d'essai. Pour optimiser les performances aux fréquences les plus basses, il est conseillé d'éviter une forme parfaitement cubique. Les parois doivent être constituées d'un matériau conducteur (cuivre, aluminium ou acier). La cage ne doit pas contenir de matériaux dissipatifs.

La fréquence maximale d'utilisation de la cage dépend uniquement de l'atténuation d'écran à la fréquence la plus élevée, qui doit toujours excéder 60 dB. Cependant, cette valeur n'est pas critique si l'analyseur de spectre et les dispositifs de connexion de l'équipement de mesure sont suffisamment blindés et si le facteur de qualité de la cavité reste suffisamment élevé. Pour contrôler le facteur de qualité, on doit vérifier que, durant une révolution du variateur de mode, le rapport entre les puissances maximale et minimale obtenues sur l'antenne de référence reste supérieur à 20 dB. Au minimum, la chambre d'essai et l'instrumentation d'essai doivent avoir, à chaque fréquence, une efficacité d'écran combinée supérieure d'au moins 10 dB à celle exigée pour le composant en essai.

Quatre passages coaxiaux sont percés dans la cage de Faraday: deux pour les sorties des antennes et deux pour les sorties de la boucle de mesure. Pour plus de détails, voir annexe A.

4.2 Variateur de mode

Le variateur de mode doit être grand par rapport à la longueur d'onde et doit former un angle par rapport aux murs de la cage de Faraday. Le variateur de mode doit mesurer au moins deux longueurs d'onde de pointe à pointe à la fréquence d'essai la plus basse. L'annexe B décrit un exemple possible du variateur de mode.

4.3 Antennes

La chambre réverbérante comporte une antenne d'injection et une antenne de référence. Ces deux antennes doivent présenter peu de résonance dans la bande de fréquences et ne doivent pas faire intervenir de pertes. Leur coefficient de réflexion doit être meilleur que 6 dB.

3 Measurement of the screening attenuation of the device under test (DUT)

The measurement of screening attenuation is based on the comparison of the electromagnetic field power outside the DUT to the electromagnetic field power induced into the DUT. The screening attenuation is then defined as:

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{REF}} \right) \quad (1)$$

or

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{INJ}} \right) - \Delta_{ins} \quad (2)$$

where

P_{DUT} is the power coupled to the device under test (W);

P_{REF} is the power coupled to the reference antenna (W);

P_{INJ} is the power injected into the chamber (W);

Δ_{ins} is the insertion loss of the chamber in decibels (dB).

4 Description of the test set-up

4.1 Reverberation chamber

The reverberation chamber is a shielded enclosure having any shape, provided that its smallest dimension exceeds three wavelengths at the lowest test frequency. A perfect cubic shape should be avoided for optimum performance at lower frequencies. It shall be made of conductive materials (copper, aluminium or steel) and shall not contain lossy materials.

The upper frequency limit depends only on the screening attenuation, which shall exceed 60 dB for the whole frequency range. However, this value is not critical if the spectrum analyzer and the connecting devices of the test set-up are sufficiently screened and if the quality factor of the cavity remains sufficiently high. The quality factor shall be checked to verify that during one revolution of the mode stirrer the ratio between the maximum and the minimum power at the output of the reference antenna exceeds 20 dB. As a minimum, the test chamber and the test instrumentation shall have a combined screening attenuation at each test frequency that is 10 dB greater than the screening requirement of the DUT.

The shielded enclosure is drilled with four coaxial feed-throughs: two for the output of the antennas and two for the output of the measuring loop. For further details see annex A.

4.2 Mode stirrer

The mode stirrer shall be large with respect to wavelength and be bent at angles to the walls of the chamber. The mode stirrer shall be at least two wavelengths from tip to tip at the lowest test frequency. An example of a mode stirrer is described in annex B.

4.3 Antennas

The reverberation chamber is equipped with input and reference antennas. Both antennas shall present limited resonances in the frequency range and shall not introduce losses; their return loss shall be better than 6 dB.

On peut utiliser une antenne filaire entre 10 GHz et 20 GHz. Sa longueur doit être supérieure à cinq longueurs d'onde à la fréquence d'essais minimale. Elle doit être adaptée aux deux extrémités afin d'éviter toute résonance. Elle doit passer le long de deux côtés de la cage à une distance telle que son impédance d'entrée reste supérieure à 300 Ω . Pour éviter le couplage direct entre les deux antennes, celles-ci ne doivent pas être installées sur le même panneau et ne doivent avoir ni le même niveau ni la même orientation.

On peut également utiliser les antennes cornets, en particulier pour les fréquences les plus élevées, à condition d'éviter tout couplage direct entre les antennes. Si des cornets sont utilisés, il convient de les placer dans deux coins différents de la chambre et de les orienter de telle sorte qu'elles soient dirigées vers le coin.

La figure 1 montre les principaux équipements d'essais et composants exigés pour une mesure automatique d'atténuation d'écran. Il est également possible d'utiliser des préamplificateurs, des amplificateurs ou d'autres équipements de contrôle pour améliorer les performances.

Le générateur et l'analyseur de spectre doivent avoir une fréquence de référence commune particulièrement stable.

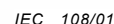


Figure 1 – Exemple de dispositif d'essai

For convenience, the same antenna should be kept for the whole frequency range. However, strongly polarized and directional antennas may disturb measurements due to lack of isotropic field state. This may be checked by modifying the location and orientation of the antennas. It should have no noticeable effect on the insertion loss of the cavity.

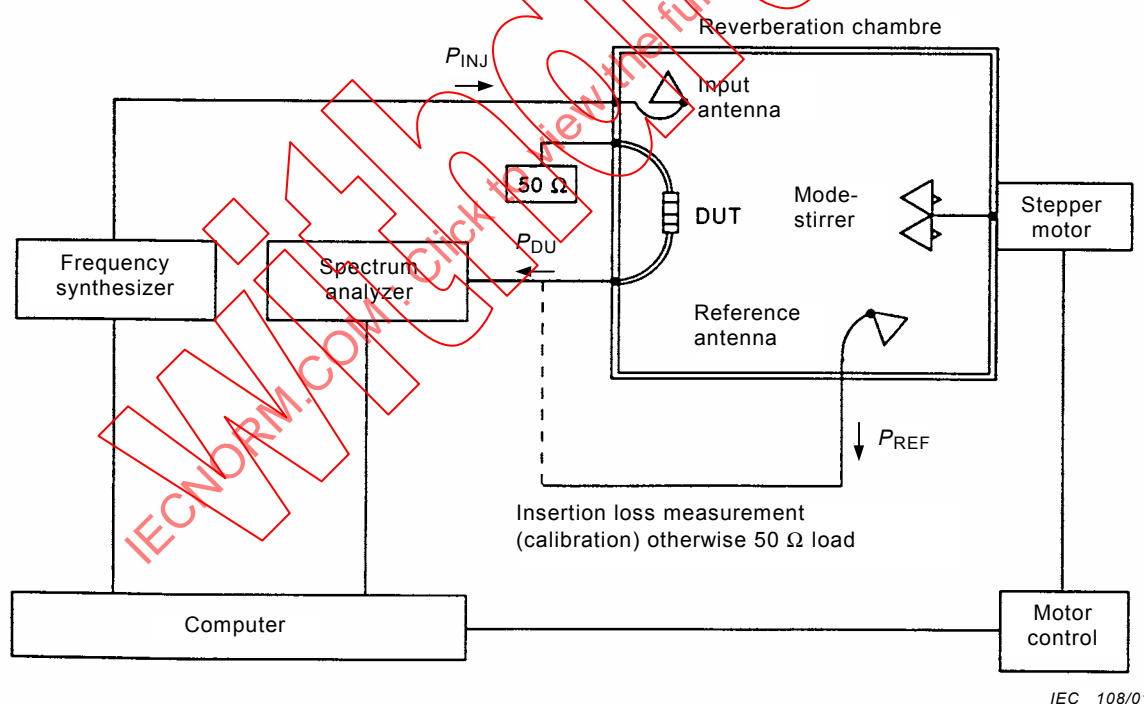
A wire antenna can be used between 10 GHz and 20 GHz. Its length shall be greater than five wavelengths at the lowest test frequency. It shall be matched at both ends in order to avoid resonances. It shall travel along two sides of the chamber, at such a distance that its input impedance remains superior to 300 Ω . To avoid direct coupling between antennas, they shall neither be installed on the same panels nor be at the same level and orientation.

Horn antennas may also be used, especially for higher frequencies, provided that direct path coupling between antennas is avoided. If horns are used, they should be placed in different corners of the chamber and located so that they face into the corner.

4.4 Test equipment

The essential test equipment and components required for an automated screening attenuation measurement are shown in figure 1. Preamplifiers, amplifiers and other control equipment may also be included in order to improve performance.

The generator and the spectrum analyzer shall have a common, highly stable frequency reference.



IEC 108/01

Figure 1 – Example of a test set-up

4.5 Dispositif en essai

Pour éviter les résonances, le dispositif en essai est inséré à l'intérieur d'une boucle (faite de câble semi-rigide) dont la longueur doit être supérieure à quatre longueurs d'onde à la fréquence minimale. Il convient que les autres portes du composant en essai soient connectées sur des charges adaptées présentant une atténuation d'écran meilleure d'au moins 10 dB que celle du composant en essai. L'assemblage est alors placé à l'intérieur de la chambre avec n'importe quelle orientation et position. La zone de couplage se situe à une distance minimale des panneaux de la chambre d'au moins une longueur d'onde à la fréquence la plus basse. Si le dispositif en essai est un câble, on doit s'assurer que les connecteurs utilisés sont ceux qui sont recommandés pour le type particulier de câble, afin de minimiser les pertes d'interface. Si le câble doit être utilisé sous une forme courbée, il doit alors être soumis à l'essai en tant que tel dans le cadre des limites imposées par une norme pertinente ou par le fabricant.

Les deux extrémités de la boucle sont connectées aux sorties de la chambre. Une extrémité est chargée sur son impédance caractéristique et l'autre extrémité connectée à l'analyseur de spectre. Il est également acceptable de charger le composant en essai à l'intérieur de la chambre. Dans ce cas, la seconde branche de la boucle doit être remplacée par un simple fil conducteur dont une extrémité doit être reliée électriquement au composant en essai, et l'autre à la paroi.

Pour les besoins de cette méthode de mesure, les guides d'ondes et accessoires de guides d'ondes (WUT) ne sont pas des dispositifs coaxiaux. De ce fait, ils nécessitent d'être connectés au guide d'ondes approprié à la ou aux transitions coaxiales afin d'être soumis aux essais dans la chambre réverbérante.

La mesure de la dynamique, de la perte d'insertion et de l'appareil d'étalonnage coaxial doit être effectuée en assemblant le guide d'onde pour la transition coaxiale dans le circuit d'essai de la même manière que pour les essais de WUT.

La conception du guide d'ondes à transitions coaxiales doit être telle que leur facteur d'adaptation d'entrée et de sortie soit supérieur à 15 dB. Lorsqu'ils sont assemblés dans le circuit d'essai, avec un guide d'onde à haute efficacité à la place du WUT, leur conception doit assurer que l'efficacité totale d'écran (dynamique) doit être d'au moins 10 dB supérieure à la spécification pour les WUT.

4.6 Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison sont normalement des lignes coaxiales à 50 Ω , présentant une atténuation d'écran meilleure de 10 dB que celle du composant en essai. En fonction des considérations pratiques, on peut utiliser des câbles semi-rigides ou semi-flexibles.

Avant de commencer les mesures, les dispositifs de liaison (atténuateurs, cordons etc.) doivent être caractérisés en atténuation à toutes les fréquences d'essai.

La formule (2) doit être corrigée pour tenir compte des pertes d'insertion des dispositifs de la liaison:

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{INJ}} \right) - \Delta_{ins} - X_L \quad (3)$$

où X_L est la perte d'insertion de tous les composants de liaison à l'intérieur de la chambre ou à l'extérieur de la chambre, et est exprimée en décibels (dB).

Ces corrections peuvent être intégrées au logiciel d'essai dans un système automatique. Elles doivent être vérifiées périodiquement et au minimum lors de chaque calibrage du système d'essai.

4.5 Device under test (DUT)

To avoid resonances, the DUT is inserted into a loop (made of semi-rigid coaxial cable) having a length of more than four wavelengths at minimum frequency. The other ports of the DUT should be terminated with matched loads having a screening attenuation at least 10 dB better than the DUT. The assembly is then placed inside the chamber in any orientation and location, the coupling zone being at a minimum distance from the chamber panels of one wavelength at lower frequency. If the DUT is a cable, it shall be ensured that the connectors used are those recommended for the particular type of cable, in order to minimize interface losses. If the cable is to be used in a bent form, than it shall be tested as such within the limitations imposed by a relevant standard or the manufacturer.

Both ends of the loop are connected to the outputs from the chamber. One end is terminated with a matched load and the other end is connected to the spectrum analyzer. It is also acceptable to terminate the DUT inside the chamber, in which case, the second leg of the loop shall be replaced by a single wire, one end being electrically linked to the DUT; the other end to a panel of the chamber.

For the purpose of this method of measurement, waveguides and waveguide accessories (WUT) are not coaxial devices. Therefore, they require to be connected to the appropriate waveguide to coaxial transition(s) in order to be tested in the reverberation chamber.

The measurement of the dynamic range, insertion loss and coaxial calibrator shall be carried out with the waveguide to coaxial transition assembled in the test circuit in the same manner as for the testing of the WUT.

The design of the waveguide to coaxial transitions shall be such that their input and output return loss shall be better than 15 dB. Their design shall ensure that when they are assembled into the test circuit, with a highly screened waveguide in place of the WUT, the total screening effectiveness (dynamic range) shall be at least 10 dB better than the specification for the WUT.

4.6 Linking devices

Linking devices are normally 50 Ω coaxial lines having a screening attenuation at least 10 dB better than the DUT. Depending on practical considerations, semi-rigid or semi-flexible cables may be used.

All linking lines shall be characterized for attenuation at all test frequencies prior to starting the test (attenuators, cable assemblies, etc.).

Equation (2) shall be corrected, taking into account the insertion losses of linking devices:

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{DUT}}{P_{INJ}} \right) - \Delta_{ins} - X_L \quad (3)$$

where X_L is the insertion loss of all linking devices inside or outside the chamber and is expressed in decibels (dB).

These corrections may be included as part of the test programme for an automated test system. They shall be checked periodically and, at least, during calibration of the test system.

5 Procédure de mesure

5.1 Généralités

Différentes méthodes sont acceptables suivant les performances de l'équipement:

- échantillonnage par pas (positionnement pas à pas du variateur de mode);
- acquisition en continu (rotation à une vitesse constante du variateur de mode);
- recherche de la puissance crête sur une rotation du variateur de mode;
- calcul de la puissance moyenne sur une rotation du variateur de mode.

Lorsque l'on décide d'une procédure de mesure, on doit remarquer que

- l'échantillonnage par pas est lent et nécessite un grand nombre de mesures d'échantillons par tour du variateur de mode (200 d'habitude jusqu'à 20 GHz). Cependant, cette procédure permet d'acquérir des mesures plus précises;
- le calcul de la puissance moyenne durant chaque révolution du variateur de mode diminue de manière très importante la dynamique de la méthode. Dans ce cas, les acquisitions doivent être consignées en watts (W) et non en dBm.

La procédure de mesure décrite ci-après est très économique en temps mais nécessite un analyseur de spectre moderne et stable.

5.2 Mesure du composant en essai

Le générateur synthétisé est connecté à l'antenne d'injection et il est réglé pour délivrer une puissance constante à une fréquence fixe. Le variateur de mode est réglé pour tourner à une vitesse constante (par exemple un tour par 5 s).

L'analyseur de spectre est connecté à la sortie du composant en essai. Son filtre de résolution est centré sur la fréquence d'émission du synthétiseur et maintenu fixe (SPAN 0: fonctionnement en démodulateur).

Le spot balaye l'écran en un temps qui est égal à celui d'une révolution du variateur de mode.

La trace qui en résulte et apparaît sur l'écran montre l'évolution de la puissance comme fonction de la position angulaire du variateur de mode.

Après une rotation complète du variateur de mode, on enregistre la puissance maximale.

L'atténuation d'écran est alors calculée en tenant compte de l'atténuation des dispositifs de liaison et des pertes d'insertion de la cavité (formule (3)).

La même procédure est répétée pour toutes les fréquences d'essai prescrites.

5.3 Mesure des pertes d'insertion de la cavité

Le générateur synthétisé est connecté à l'antenne d'injection et il est réglé pour délivrer une puissance constante à une fréquence fixe. Le variateur de mode est également réglé pour tourner à une vitesse constante. Tous les paramètres (c'est-à-dire vitesse de rotation, configuration de l'analyseur de spectre, excepté pour les atténuateurs d'entrée et le niveau de référence) doivent être les mêmes que ceux utilisés pendant la mesure du dispositif en essai.

5 Measurement procedure

5.1 General

Different approaches are acceptable depending on the performance of the equipment:

- discrete tuning (step positioning of the mode stirrer);
- continuous tuning (constant rotation of the stirrer);
- peak power acquisition on one revolution of the mode stirrer;
- averaged power calculation on one rotation of the mode stirrer.

When deciding on a measurement procedure it shall be recognized that:

- discrete tuning is slow and requires a large number of sample measurements to be taken per revolution of the mode stirrer (200 is a usual value up to 20 GHz). This does, however, result in the acquisition of more accurate measurements.
- averaged power calculation during one revolution of the mode stirrer dramatically decreases the dynamic range of the method. In this case, acquisitions shall be recorded in watts (W) and not in dBm.

The measurement procedure described here is very economical in time, but requires a modern and stable spectrum analyzer.

5.2 Measurement of the DUT

The synthesized generator is connected to the input antenna and set to deliver a constant power at a fixed frequency. The mode stirrer is set to rotate at a constant speed (for example, 1 revolution every 5 s).

The spectrum analyzer is connected to the output of the device under test. Its resolution filter is centered on the emitting frequency of the synthesizer and is fixed (SPAN 0: demodulator mode).

The spot scans the screen during a period which is equal to the time of one revolution of the mode stirrer.

The resulting trace which appears on the screen shows the evolution of the power as a function of the angular position of the mode stirrer.

After one complete revolution of the mode stirrer, the maximum value of the power is recorded.

Screening attenuation is then calculated, taking into account the attenuation of links and insertion loss of the cavity (equation (3)).

The same procedure is repeated for all the required test frequencies.

5.3 Measurement of the insertion loss of the cavity

The synthesized generator is connected to the input antenna and set to deliver a constant power at a fixed frequency. The mode stirrer is also set to rotate at a constant speed. All parameters, i.e. rotation speed and spectrum analyzer set-up (except for input attenuator and reference level) shall be the same as those used during DUT measurement.

L'analyseur de spectre est connecté à la sortie de l'antenne de référence. Après une rotation complète du variateur de mode, on enregistre la valeur maximale de la puissance.

Les pertes d'insertion, Δ_{ins} de la chambre sont alors calculées:

$$\Delta_{\text{ins}} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{REF}}}{P_{\text{INJ}}} \right) + X_L \quad (4)$$

où

P_{INJ} est la puissance d'injection (W);

P_{REF} est la puissance de réception (W);

X_L est la perte d'insertion des composants de liaison (dB).

NOTE La perte d'insertion Δ_{ins} de la chambre (une fonction de la fréquence) est une caractéristique de chaque chambre réverbérante; elle dépend des paramètres de construction tels que la conductivité des panneaux, la géométrie, les matériaux dissipatifs présents à l'intérieur de la cavité, les couplages à travers les ouvertures; elle dépend également de paramètres de mesure tels que la vitesse de rotation du variateur de mode et la largeur du filtre de l'analyseur de spectre. Elle peut être mesurée avant chaque composant ou peut être intégrée au logiciel d'essai pour un système automatique de mesure.

5.4 Vérification du système d'essai

5.4.1 Dynamique

Avant chaque série de mesures, la dynamique du montage d'essai doit être vérifiée en utilisant les mêmes dispositifs de liaison (câbles, connecteurs) et charges d'extrémité que pour le composant en essai. Le composant en essai doit être remplacé par un système possédant une efficacité d'écran élevée. La dynamique doit être meilleure d'au moins 10 dB que celle spécifiée pour le dispositif en essai.

5.4.2 Pertes d'insertion de la chambre

Si la perte d'insertion de la chambre fait partie du logiciel, dans un système automatique d'essai, on doit vérifier si elle convient avant chaque série de mesures, un dispositif d'essai étant placé dans la chambre.

L'analyseur de spectre doit être connecté à la sortie de l'antenne de référence que l'on mesurera comme s'il s'agissait d'un composant en essai. Si on utilise un préamplificateur, il convient qu'il ne soit pas surchargé. Dans ce cas, on doit ajouter à la sortie de l'antenne de référence les atténuateurs calibrés nécessaires pour éviter la surcharge.

Il convient que l'atténuation d'écran oscille (± 3 dB) autour d'une valeur de 0 dB ou autour de la valeur pour les atténuateurs, lorsqu'ils sont utilisés. Un écart systématique indique que la modélisation des pertes d'insertion est incorrecte soit en raison de pertes dans le dispositif en essai (voir 5.4.4), soit à cause de problèmes sur les antennes.

5.4.3 Mesure des calibreurs

Un calibreur est un composant d'atténuation d'écran stable. Un exemple de calibreur est donné à l'annexe C. Il convient qu'un tel calibreur soit mesuré lors de la procédure de calibrage complet du système d'essai, et que les valeurs soient comparées aux mesures précédentes. Cela permet de détecter toute dérive ou tout mauvais fonctionnement du système d'essai.

Le calibreur est l'objet d'une étude en cours pour exprimer son atténuation d'écran théorique à partir des paramètres Z_t et Z_f , afin de fournir les données nécessaires pour l'étalonnage de l'équipement de mesure.

The spectrum analyzer is connected to the output of the reference antenna. After a complete revolution of the mode stirrer, the maximum value of the power is recorded.

The insertion loss, Δ_{ins} , of the chamber is then calculated:

$$\Delta_{\text{ins}} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{REF}}}{P_{\text{INJ}}} \right) + X_L \quad (4)$$

where

P_{INJ} is the input power (W);

P_{REF} is the output power (W);

X_L is the insertion loss of linking devices (dB).

NOTE The insertion loss Δ_{ins} of the chamber is a function of frequency and is a characteristic of each reverberation chamber. It depends on construction parameters such as conductivity of panels, geometry, lossy materials inside the cavity, coupling through apertures, and measurement parameters such as rotation velocity of the mode stirrer and bandwidth of the spectrum filter. It may be measured either before each DUT measurement or made part of the test programme for an automated test system.

5.4 Control of the test set-up

5.4.1 Dynamic range

Prior to taking a set of measurements, the dynamic range of the test set-up shall be checked using the same linking devices (cables, connectors) and terminations as for the DUT, except that the DUT shall be replaced by a highly screened device. The dynamic range shall be at least 10 dB better than the specification of the DUT.

5.4.2 Insertion loss of the chamber

If the insertion loss of the chamber is part of the programme, in an automated test system, its suitability shall be checked before each set of measurements, a DUT being installed into the chamber. The spectrum analyzer shall be connected to the output of the reference antenna, which will be measured as if it was a DUT. If a preamplifier is used, it should not be overloaded; calibrated attenuators shall be added to the output of the reference antenna, as required, in order to prevent overload.

The screening attenuation should oscillate (± 3 dB) around a 0 dB value, or around the value for the attenuators, if used. A systematic discrepancy indicates that the modelling of insertion loss is incorrect, either due to losses in the DUT (see 5.4.4) or to antenna problems.

5.4.3 Measurement of a calibrator

A calibrator is a device having stable screening attenuation. An example of a calibrator is given in annex C. Such a calibrator should be measured during the full calibration procedure for the test set-up, and compared to previous measurements. This enables the detection of any deviations or malfunctioning of the test set-up.

The calibrator is the subject of on-going study to derive its theoretical screening attenuation from Z_t and Z_r , in order to provide the necessary data for calibration of the test equipment.

5.4.4 Mesure d'un composant dissipatif

Des erreurs de mesure peuvent apparaître lorsqu'on mesure un composant dissipatif, erreurs dues à la présence simultanée de trop peu de modes à l'intérieur de la chambre réverbérante. Cela peut être contrôlé en vérifiant que, durant une rotation du variateur de mode, le rapport entre les puissances maximale et minimale à la sortie de l'antenne de référence excède 20 dB.

5.5 Vitesse de rotation du variateur de mode

La vitesse du variateur de mode a deux effets sur les résultats d'essais:

- élargissement du spectre de fréquence délivré par le générateur synthétisé;
- écrasement des pics et des creux de puissance.

En raison de ces deux effets, il est important d'utiliser la même vitesse de rotation et la même largeur de filtre d'analyse sur l'analyseur de spectre pour la mesure du composant en essai et pour la mesure des pertes d'insertion de la cavité. Si ce n'est pas le cas, une erreur systématique pouvant aller jusqu'à 10 dB pourrait apparaître aux fréquences les plus élevées.

En pratique, un tour en 5 s est un bon compromis entre la justesse, la dynamique de mesure et l'économie de temps.

5.6 Fréquence d'essais

Pour la méthode en variation de mode, l'atténuation d'écran peut varier de manière significative pour des fréquences rapprochées (± 3 dB). Cela est probablement dû à l'impédance d'onde réelle à la position de couplage maximale du variateur de mode (l'impédance d'onde moyenne est de 377Ω , mais l'impédance d'onde réelle peut varier dans une large proportion [1]). Pour maintenir la précision du résultat, il convient d'effectuer la mesure pour un nombre suffisant de points de fréquence. Cent points par puissance de dix est une valeur adéquate.

Pour des mesures sur des bandes étroites, la valeur d'atténuation d'écran est la moyenne d'au moins dix points de fréquence rapprochés.

5.7 Rapport d'ondes stationnaires (ROS)

Il convient que tous les composants du système de mesure soient performants avec un coefficient de réflexion à l'entrée et à la sortie meilleur que 15 dB. Ceci s'applique à tous les composants, câbles et instrumentation dans les trajets du signal entre l'antenne de référence ou du composant en essai.

Cette exigence peut être difficile à réaliser pour certains composants en essai. Dans ce cas, le rapport d'essai doit inclure une courbe du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. En tout état de cause, il ne doit pas dépasser ≥ 6 dB. Des atténuateurs de masquage peuvent également être utilisés. Les mesures doivent également être limitées à la gamme de fréquences où seul le mode électromagnétique transverse (TEM) peut se propager.

6 Evaluation des résultats d'essai

6.1 Atténuation d'écran

La méthode décrite permet de mesurer l'atténuation d'écran d'un composant en essai. Pour la même raison qu'en 5.6, la courbe idéale n'est pas une courbe lisse. Quels que soient les pas de fréquence, les mesures oscillent autour d'une courbe moyenne. L'ordre de grandeur des oscillations est de ± 3 dB. On admet que la courbe moyenne représente la véritable efficacité d'écran dans les conditions d'impédance caractéristiques de 377Ω . Il ne faut pas confondre les oscillations normales de la courbe avec des résonances propres aux composants en essai.

5.4.4 Measurement of lossy DUT

Some inaccuracy may occur when measuring a lossy DUT, due to insufficient moding of the reverberation chamber. This may be checked by verifying that during one revolution of the mode stirrer, the ratio between the maximum and the minimum power at the output of the reference antenna exceeds 20 dB.

5.5 Revolution speed of the mode stirrer

The speed of the mode stirrer has two effects on the test results:

- broadening of the frequency spectrum delivered by the synthesized generator;
- levelling of power peaks and gaps.

Due to both these effects, the same revolution speed and the same bandwidth of the analysis filter of the spectrum analyzer should be used for both DUT and insertion loss measurements. If this is not done, a systematic error up to 10 dB could appear at higher frequencies.

In practice, one turn every 5 s is a good compromise between accuracy, measurement dynamic range and time saving.

5.6 Test frequencies

The mode stirred method exhibits significant changes in measured screening attenuation for close frequencies (± 3 dB). This is probably due to real wave impedance at the maximum coupling position of the mode stirrer (the averaged wave impedance is 377Ω , but the real wave impedance may vary widely [1]). To maintain accuracy, an adequate number of test frequencies should be taken. One hundred points per decade is an adequate value.

For narrow-band measurement the screening attenuation value is the average of at least 10 closely spaced frequencies.

5.7 Voltage standing wave ratio (VSWR)

The individual components of the measurement system should be of good quality, with an input and output return loss of 15 dB or better. This applies especially to all components, cables and instrumentation in the signal paths between both the reference antenna and the DUT.

This requirement may be difficult to achieve for some DUTs, in which case, a graph of return loss against frequency shall be included in the documentation. The return loss shall be ≥ 6 dB. Masking attenuators may also be used. Measurement shall be limited to the frequency range that can only be propagated by transverse electromagnetic modes (TEM).

6 Evaluation of the test results

6.1 Screening attenuation

By using the described test method the screening attenuation of the DUT is measured. For the reasons given in 5.6, the ideal curve is not a smooth one. Whatever the frequency steps are, the measurements will oscillate around a mean curve. The order of magnitude of the oscillations is ± 3 dB. The true screening attenuation under 377Ω conditions is said to be the average curve. Care shall be taken not to confuse normal oscillations with resonances of the DUT.

Ces résonances peuvent être distinguées facilement en subdivisant le pas de fréquence. En effet, dans ce cas, les oscillations normales présenteront toujours le même aspect, alors que les pics de résonance apparaîtront clairement.

Lorsque l'on charge la chambre du variateur de mode avec le composant à l'essai, les résultats doivent être corrigés par la différence de niveau de puissance correspondant mesurée avec l'antenne de réception.

6.2 Relation entre les paramètres d'impédance de transfert et l'atténuation d'écran

Pour une fuite ponctuelle, la relation proposée entre les paramètres d'impédance de transfert et l'atténuation d'écran est la suivante:

$$Z_t^2 + Z_f^2 = 2Z_1 \times Z_2 \times 10^{-a_s/10} \quad (5)$$

où

Z_t est l'impédance linéique de transfert (Ω);

Z_f est l'impédance de couplage capacitive (Ω);

Z_1 est l'impédance caractéristique du système interne (généralement 50 Ω);

Z_2 est égal à 377 Ω .

Pour les fuites uniformément réparties (câbles idéaux par exemple), cette relation devient

$$Z_t^2 + Z_f^2 = \frac{2 \times Z_1 \times Z_2 \times 10^{-[a_s + S(D/\lambda)]/10}}{D^2} \quad (6)$$

où

$S(D/\lambda)$ est une fonction de sommation;

D est la longueur de la zone de couplage;

λ est la longueur d'onde en espace libre (m).

($\lambda \equiv c/f$)

$$S(D/\lambda) = 10 \log_{10} \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \left[\frac{\sin \left[\frac{\pi D}{\lambda} (\cos \phi - \sqrt{\epsilon}) \right]}{\left[\frac{\pi D}{\lambda} (\cos \phi - \sqrt{\epsilon}) \right]} \right]^2 d\phi \quad (7)$$

où

ϕ est une coordonnée d'angle dans un système de coordination cylindrique à intégrer de 0° à 180° .

ϵ est la permittivité relative du câble.

Pour de plus amples informations, se reporter à D.1 et D.2.

NOTE 1 L'expérience montre que ces formules conviennent bien jusqu'à 5 GHz. Aux fréquences plus élevées, il faut qu'elles soient utilisées avec précaution et il convient que la valeur exacte pour des comparaisons soit alors l'atténuation d'écran.

NOTE 2 Cette méthode ne permet pas de calculer séparément Z_t et Z_f . Cependant, cela ne pose en principe pas de problème puisque Z_f est souvent égal à 0.

NOTE 3 Pour des câbles électriquement longs (plus que $0,1 \lambda$ à la fréquence d'essai la plus basse), il convient que l'atténuation d'écran reste à peu près constante en fonction de la fréquence et de la longueur du composant en essai lorsque son impédance linéique de transfert augmente de 20 dB par puissance de 10. Ce comportement s'explique à l'aide des fonctions de sommation [4].

These resonances may be distinguished by subdividing the frequency step, in which case normal oscillations will still present the same aspect whereas a resonance peak will be clearly apparent.

When loading the mode stirrer chamber with the DUT the results shall be corrected by the corresponding power level difference measured with the receiving antenna.

6.2 Relationship between transfer impedance parameters and screening attenuation

For a single hole leakage the proposed relationship between the transfer impedance parameters and the screening attenuation is:

$$Z_t^2 + Z_f^2 = 2Z_1 \times Z_2 \times 10^{-a_s/10} \quad (5)$$

where

Z_t is the surface transfer impedance (Ω);

Z_f is the capacitive coupling impedance (Ω);

Z_1 is the characteristic impedance of the internal system (usually 50Ω);

Z_2 is equal to 377Ω .

For distributed leakages (ideal cables for example), this relation becomes:

$$Z_t^2 + Z_f^2 = \frac{2 \times Z_1 \times Z_2 \times 10^{-[a_s + S(D/\lambda)]/10}}{D^2} \quad (6)$$

where

$S(D/\lambda)$ is a summing function;

D is the length of the coupling zone;

λ is the free space wavelength (m).

($\lambda \equiv c/f$)

$$S(D/\lambda) = 10 \log_{10} \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \left[\frac{\sin \left[\frac{\pi D}{\lambda} (\cos \phi - \sqrt{\epsilon}) \right]}{\left[\frac{\pi D}{\lambda} (\cos \phi - \sqrt{\epsilon}) \right]} \right]^2 d\phi \quad (7)$$

where

ϕ is the angle coordinate in a cylindrical coordination system to be integrated from 0° to 180° .

ϵ is the relative permittivity of the cable.

For further information see D.1 and D.2.

NOTE 1 Measurement experience shows that these formulae are accurate up to 5 GHz. For higher frequencies they must be used with caution and the correct value for comparison should then be the screening attenuation.

NOTE 2 This method does not allow Z_t and Z_f to be calculated separately. However, this is not usually a problem since Z_f is often equal to 0.

NOTE 3 For electrically long cables (more than $0,1\lambda$ at lowest test frequency) the screening attenuation should be nearly constant versus frequency and length of the DUT when its surface transfer impedance increases by 20 dB/decade. This behaviour can be explained with the summing function [4].

6.3 Champ électromagnétique dans l'environnement du composant en essai

A l'intérieur de la chambre réverbérante, le composant en essai est soumis à un champ électrique qui peut être évalué en utilisant la formule (8):

$$E = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{0,03 \times 10^{(P_{inj} - \Delta_{ins})/10}}{F}} \quad (8)$$

où

E est le champ électrique (V/m);

λ est la longueur d'onde (m);

($\lambda \equiv c/f = 3 \times 10^8 [\text{m/s}] / f [\text{Hz}]$)

P_{inj} est la puissance électromagnétique injectée à l'intérieur de la chambre (dBm);

Δ_{ins} est la perte d'insertion de la chambre en décibels (dB);

F est l'efficacité de l'antenne de référence. En raison du manque de données expérimentales sur l'efficacité d'antenne à l'intérieur d'une chambre réverbérante, il convient de prendre F égal à 1.

L'atténuation d'écran à l'intérieur d'une chambre réverbérante peut être reliée à l'atténuation d'écran en espace libre en utilisant la formule (8). Comme le gain d'une antenne placée à l'intérieur d'une chambre réverbérante est 1, les résultats différeront d'un facteur égal au gain maximal du composant en essai (d'habitude une valeur comprise entre 0 dB et 10 dB maximum).

Pour de plus amples informations, voir D.3.

6.3 Electromagnetic field surrounding the DUT

Inside the reverberation chamber, the DUT is subjected to an electrical field that can be evaluated using equation (8):

$$E = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{0,03 \times 10^{(P_{inj} - \Delta_{ins})/10}}{F}} \quad (8)$$

where

E is the electric field (V/m);

λ is the wavelength (m);

($\lambda \equiv c/f = 3 \times 10^8 [\text{m/s}] / f [\text{Hz}]$)

P_{inj} is the electromagnetic power injected into the chamber (dBm);

Δ_{ins} is the insertion loss of the chamber in decibels (dB);

F is the reference antenna efficiency (due to lack of experimental data on antenna efficiency inside a reverberation chamber, F should be set to 1).

Screening attenuation inside a reverberation chamber can be related to free space screening attenuation using equation (8). As the gain of an antenna inside a reverberation chamber is 1, the results will differ by a factor equal to the maximum antenna gain of the DUT (usual value 0 dB to 10 dB maximum).

For further information see D.3.

Annexe A (informative)

Description de la chambre réverbérante

Pour un fonctionnement optimum de la chambre à des fréquences basses, il est recommandé que le volume de la chambre soit aussi grand que possible et les rapports des carrés de dimensions de la chambre ne doivent pas être des nombres rationnels. Cela permet d'obtenir une uniformité spatiale des champs et, par conséquent, de l'exactitude lorsqu'on détermine l'atténuation d'écran d'un échantillon.

Le choix des dimensions d'une chambre a pour objectif principal de maximiser le nombre de modes et d'obtenir une densité de modes aussi uniforme que possible. Le choix des bonnes dimensions de la chambre permet d'optimiser l'uniformité de la densité de modes et donc de minimiser les «trous» dans le spectre de fréquences.

Typiquement, les dimensions internes d'une chambre construite selon ce principe, et permettant de réaliser des mesures à partir de 1 GHz, seraient de 1,164 m × 1,427 m × 1,487 m.

On trouvera de plus amples détails sur le calcul des dimensions optimales d'une chambre d'essais dans [1].

Une autre méthode pour obtenir une chambre d'essais procurant une bonne uniformité spatiale est d'utiliser une cage de Faraday standard démontable, comportant des panneaux de forme légèrement prismatique pour des questions de tenue mécanique. Dans ce cas, le transfert d'énergie selon les trois axes est amélioré. De plus, cela autorise l'utilisation de chambres présentant deux dimensions égales.

La fréquence minimale d'utilisation d'une chambre peut être facilement déterminée en mesurant les pertes Δ d'insertion de la cavité selon 5.3. La densité de modes est considérée comme acceptable à condition que les oscillations de la courbe ne dépassent pas 6 dB pour des fréquences consécutives.

Annex A (informative)

Design of the reverberation chamber

For optimum chamber performance at lower frequencies, the volume of the chamber should be as large as possible and the ratio of the squares of the linear dimensions of the chamber should not be rational numbers. This will provide spatial field uniformity and therefore accuracy in determining the shielding effectiveness of the test sample.

The main objective when selecting the chamber dimensions is to maximize the number of modes and to achieve as uniform a mode density as possible. Selecting the right relationship among the linear dimensions optimizes the uniformity in the mode density, thus minimizing "gaps" in the frequency spectrum.

A typical test chamber designed for use at test frequencies starting from 1 GHz and meeting the above guidelines would have internal mean dimensions of 1,164 m × 1,427 m × 1,487 m.

Further details for calculating the optimum test chamber dimensions are given in [1].

An alternative way to design a test chamber that provides good spatial uniformity is to use a standard demountable shielded enclosure having slightly prismatic shaped panels for improved mechanical strength. In that case, the scattering of energy along the three axes is improved and allows the use of chambers having two equal dimensions.

The lowest operating frequency for the chamber can be readily determined by measuring the insertion loss Δ of the cavity as described in 5.3. Moding is considered to be acceptable provided that the oscillations of the curve for consecutive frequencies do not exceed 6 dB.

Annexe B (informative)

Description du variateur de mode

B.1 Généralités

La forme du variateur de mode n'a pas d'importance majeure. Il convient qu'il soit aussi grand que possible, en tenant compte de l'espace disponible. Il convient que la dimension minimale du variateur de mode soit de deux longueurs d'onde et il convient qu'il ne soit pas parallèle aux plans des parois de la chambre.

Sa construction est réalisable à l'aide d'outils manuels simples et son ajustement final se fait par pliage manuel.

Un axe métallique est attaché au centre du variateur de mode pour permettre une rotation mécanique. L'axe du variateur traverse la paroi de la chambre à travers un palier conducteur qui permet d'éviter que l'énergie électromagnétique présente à l'intérieur de la chambre soit couplée avec l'extérieur.

Le variateur de mode est construit à partir d'une feuille d'aluminium selon les figures B.1 et B.2.

Il convient que la dimension « d » de la figure B.1 soit au minimum de deux longueurs d'onde à la fréquence d'essai la plus basse (0,6 m à 1 GHz) et qu'elle soit aussi grande que l'espace disponible le permet.

B.2 Construction

Les étapes ci-dessous font référence aux chiffres circlés de la figure B.1:

- 1) Couper une plaque d'aluminium rectangulaire selon les dimensions hors tout de la figure B.1a.

NOTE La dimension « d » sera au minimum de deux longueurs d'onde à la fréquence d'essai la plus basse.

- 2) En se reportant à la figure B.1a, mesurer à partir du coin inférieur gauche une longueur de $0,465\ d$ et placer une marque (1) sur la plaque. Tracer une ligne (2) à partir de la marque (1) vers le coin inférieur droit de la plaque.

Répéter la même procédure en plaçant une marque (3) dans la portion supérieure de la plaque, et en traçant une ligne (4) vers le coin supérieur droit de la plaque.

- 3) A partir du centre du côté droit de la plaque, faire une découpe dans la plaque (5) parallèle au petit côté sur une distance de $0,18\ d$. Faire une marque (6) sur le côté droit de la plaque à une distance de $0,215\ d$ au-dessus du coin inférieur droit.

Tracer une ligne (7) du fond de la découpe vers la marque (6). Placer une autre marque (8) sur la plaque à une distance de $0,215\ d$ au-dessous du coin supérieur droit. Tracer une ligne (9) à partir du fond de la découpe vers cette dernière marque (8).

- 4) Placer une marque (0) au centre de la plaque.
- 5) Comme montré sur la figure B.1b, en commençant à partir du coin inférieur gauche, plier le triangle formé par le coin le long de la ligne (2) en s'éloignant de l'observateur. Ajuster à la main cet angle pour qu'il soit approximativement de 45° , mesuré par rapport au plan de la feuille. Répéter la même procédure pour plier l'angle supérieur gauche le long de la ligne (4) en s'éloignant de l'observateur à un angle de 45° .
- 6) En commençant à partir du coin où la découpe (5) coupe le côté droit de la feuille, plier le triangle formé par le coin et la ligne (7) le long de la ligne vers l'observateur.

Annex B (informative)

Design of the mode stirrer

B.1 General

The design of the mode stirrer is not critical, although it should be as large as possible, consistent with available space. The mode stirrer should be a minimum of two wavelengths in size and bent at angles to the walls of the chamber.

Construction is achievable with simple hand tools and final adjustment is performed by hand bending.

A metal shaft is attached to the center of the mode-tuner to provide mechanical rotation. The tuner shaft is mounted to the test chamber through a conductive collet to prevent r.f. energy from being coupled outside the chamber.

The mode-tuner is constructed from a sheet of aluminium as shown in figures B.1 and B.2.

The dimension " d " in figure B.1 should be a minimum of two wavelengths at the lowest test frequency (0,6 m at 1 GHz) and should be as large as the available space will allow.

B.2 Construction

The following construction stages make reference to the circled numbers of figure B.1:

- 1) Cut a rectangular aluminium sheet to conform to the overall dimensions shown in figure B.1a.
NOTE The dimension " d " shall be a minimum of two wavelengths at the lowest test frequency.
- 2) Referring to figure B.1a, measure up from the lower left-hand corner a distance $0,465 d$ and place a mark (1) on the sheet. Draw a line (2) on the sheet from the mark (1) to the lower right-hand corner of the sheet.
Repeat the above procedure, placing a mark (3) on the upper portion of the sheet and scribing a line (4) to the upper right-hand corner of the sheet.
- 3) From the center right-hand side of sheet, make a cut in the sheet (5) parallel to the short side for a distance of $0,18 d$. Make a mark (6) on the right-hand side of the sheet at a distance of $0,215 d$ up from the lower right-hand corner.
Draw a line (7) from the vertex of the cut to the mark (6). Place another mark (8) on the sheet at a distance of $0,215 d$ down from the upper right-hand corner. Scribe a line (9) from the vertex of the cut to this last mark (8).
- 4) Place a scribe mark (0) at the center of the sheet.
- 5) As shown on figure B.1 b, starting with the lower left-hand corner, bend the triangle formed by this corner and scribe line (2) along the scribe line away from the observer. Hand adjust this angle to be approximately 45° measured with respect to the plane of the sheet. Repeat the same procedure to bend the upper left-hand corner along scribe line (4) away from the observer at a 45° angle.
- 6) Starting at the corner where the cut (5) intersects the right side of the sheet, bend the triangle formed by this corner and draw line (7) along the scribe line toward the observer.

Ajuster à la main cet angle pour qu'il soit approximativement de 30° , mesuré par rapport au plan de la feuille. Répéter la même procédure pour plier le triangle formé par la découpe (5) et la ligne (9). Ce triangle doit être également plié vers l'observateur.

- 7) La figure B.2 décrit une bride de passage permettant de relier l'axe du variateur à son moteur à travers la paroi de la chambre.

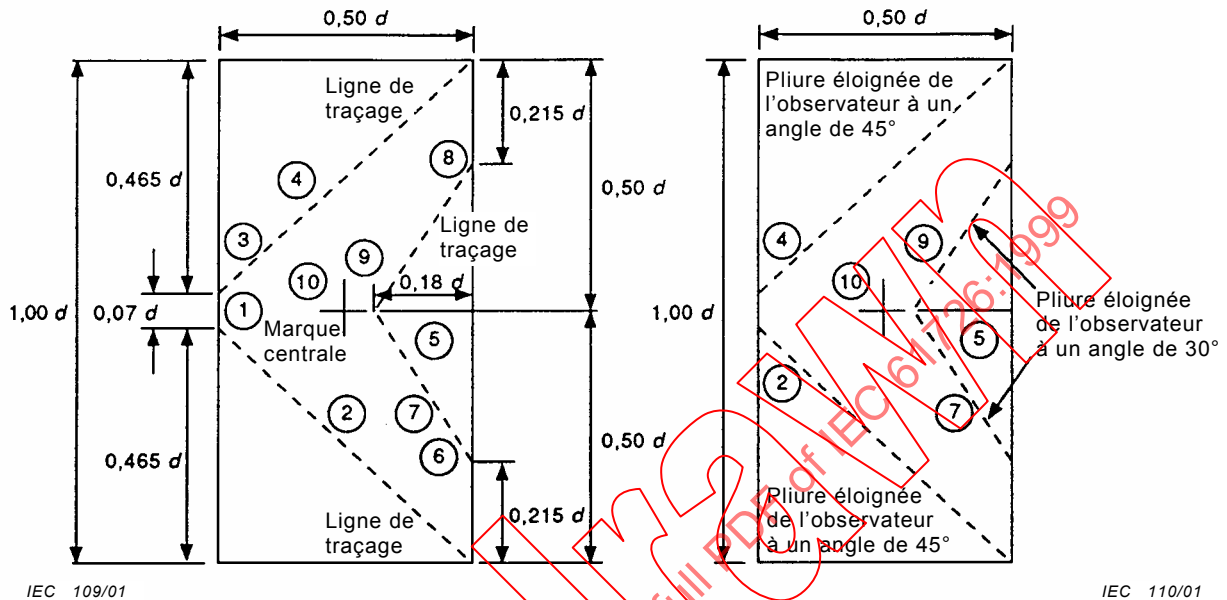
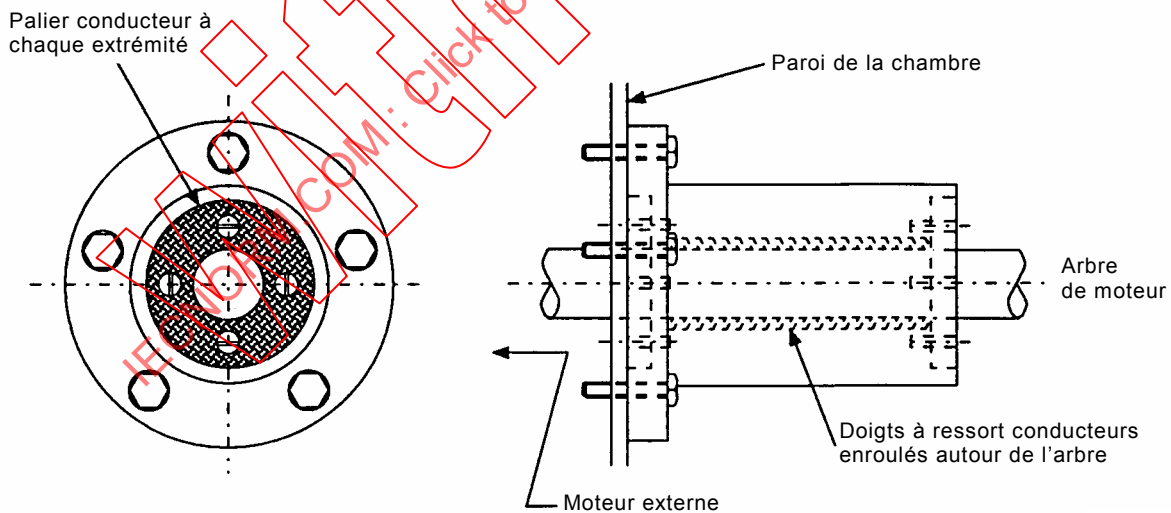


Figure B.1a

Figure B.1b

Figure B.1 – Schéma de construction du variateur de mode



IEC 111/01

Figure B.2 – Détails de la bride de passage pour piloter le variateur de mode à travers la paroi de la chambre

Hand adjust this angle to be approximately 30° measured with respect to the plane of the sheet. Repeat the same procedure to bend the triangle formed by the cut (5) and scribe (9). This triangle should also be bent toward the observer.

- 7) The design of a collet for mounting the tuner shaft to the wall of the chamber and to the drive motor is shown in figure B.2

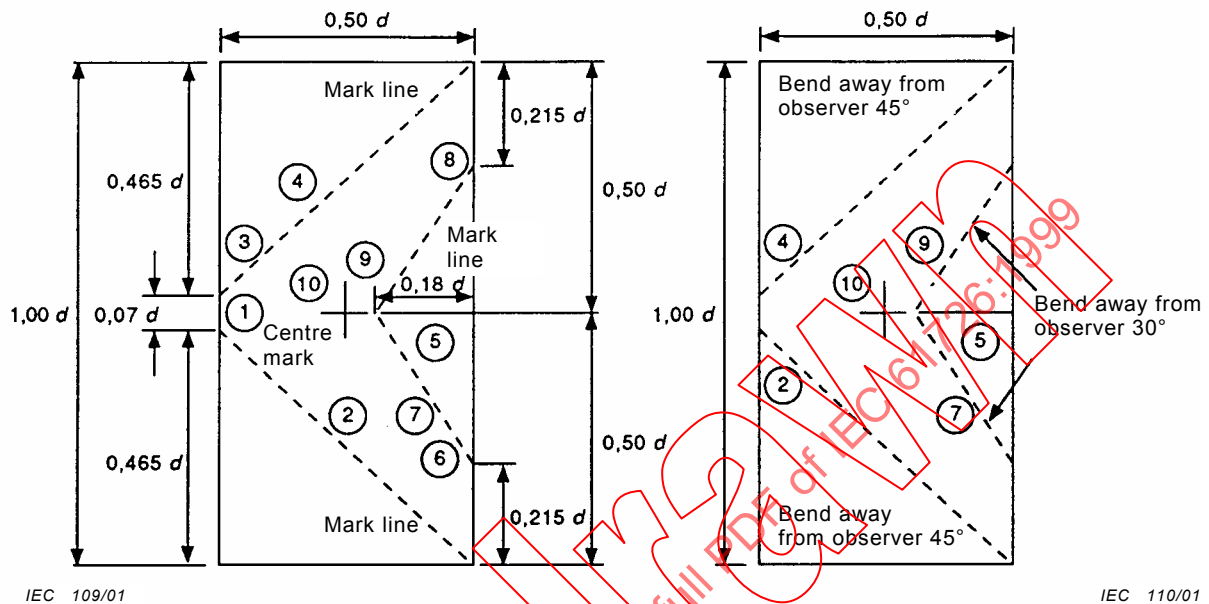
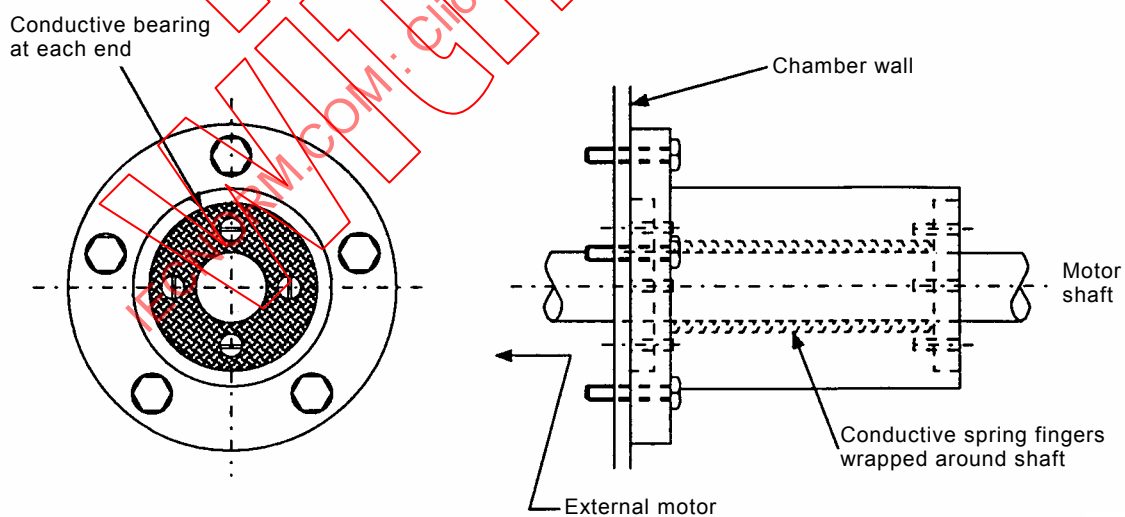


Figure B.1a

Figure B.1b

Figure B.1 – Construction diagram for mode-stirrer



IEC 111/01

Figure B.2 – Details of collet for mounting tuner shaft to drive motor through the wall of the test chamber

Annexe C (informative)

Exemple de calibre

La partie centrale du calibre est une ligne à air à 50 Ω. Les connecteurs d'extrémité ont une atténuation d'écran très élevée comme par exemple des SMA. Deux trous diamétralement opposés sont percés dans l'écran extérieur de la ligne à air:

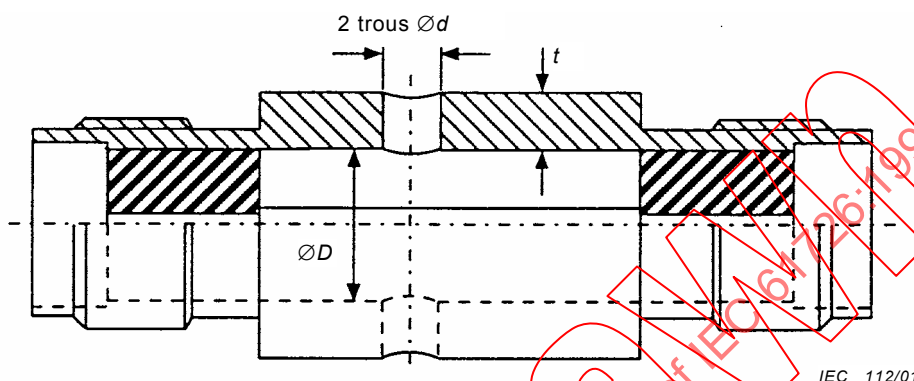


Figure C.1 – Détails de construction de base

$$\begin{aligned} D &= 4,1 \times 10^{-3} \text{ m} \\ d &= t = 2,15 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Comme $d = t$, Z_f est négligeable. Z_t peut être calculé en utilisant la formule suivante (voir [2] et [3]):

$$Z_t = 8d^3 [10^{-7} / (3D^2)] \times f \times e^{-3,68} \quad (\text{C.1})$$

où f est la fréquence (Hz).

Alternativement

$$Z_t = \frac{v\mu_0 d^3 \times f}{3\pi D^2} \times e^{\frac{-3,68t}{d}} \quad (\text{C.2})$$

ou

$$Z_t = \frac{4 \times 10^{-7} \times d^3 v}{3D^2} \times f \times e^{\frac{-3,68t}{d}} \quad (\text{C.3})$$

où

v est le nombre de trous (dans cette application $v = 2$);

μ_0 est $4\pi \times 10^{-7}$ (A/m);

f est la fréquence en hertz (Hz).

L'atténuation d'écran théorique dans une chambre réverbérante est (voir 6.2)

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{Z_t}{\sqrt{2Z_1 \times Z_2}} \quad (\text{C.4})$$

si $Z_1 = 50 \Omega$ et $Z_2 = 377 \Omega$

Annex C (informative)

Example of a calibrator

The center part of the calibrator is a 50 Ω airline. End connectors are of a highly screened type such as SMA. Two holes diametrically opposed are drilled in the outer screen of the airline

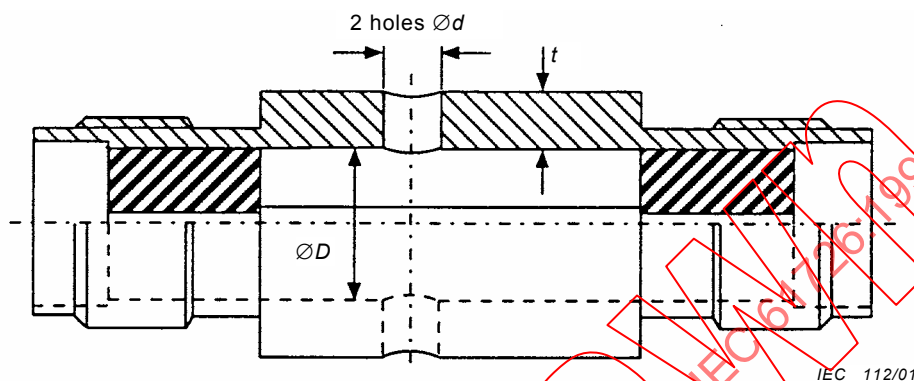


Figure C.1 – Basic construction details

$$\begin{aligned} D &= 4,1 \times 10^{-3} \text{ m} \\ d &= t = 2,15 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

As $d = t$, Z_f is negligible. Z_t can be computed using the following formulae (see [2] and [3]):

$$Z_t = 8d^3 [10^{-7} / (3D^2)] \times f \times e^{-3,68} \quad (\text{C.1})$$

where f is the frequency (Hz).

$$\text{Alternatively} \quad Z_t = \frac{\nu \mu_0 d^3 \times f}{3\pi D^2} \times e^{\frac{-3,68t}{d}} \quad (\text{C.2})$$

$$\text{or} \quad Z_t = \frac{4 \times 10^{-7} \times d^3 \nu}{3D^2} \times f \times e^{\frac{-3,68t}{d}} \quad (\text{C.3})$$

where

ν is the number of holes (in this application $\nu = 2$);

μ_0 is $4\pi \times 10^{-7}$ (A/m);

f is the frequency in hertz (Hz).

The predicted screening attenuation in a reverberation chamber is (see 6.2)

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{Z_t}{\sqrt{2Z_1 \times Z_2}} \quad (\text{C.4})$$

if $Z_1 = 50 \Omega$ and $Z_2 = 377 \Omega$

alors
$$a_s = [-20 \log_{10} Z_t / (\Omega)] + 46 \text{ (dB)} \quad (\text{C.5})$$

Avec les valeurs numériques ci-dessus, l'atténuation d'écran typique à 1 GHz est de +94 dB. La pente est de –20 dB par puissance de dix.

La formule de calcul de Z_t a été développée pour les montages triaxiaux ou pour la ligne d'injection qui ont des courants longitudinaux sur le calibre.

Il n'est donc pas possible d'espérer une corrélation parfaite entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques. Cependant, ces premières approximations peuvent être utilisées pour estimer un ordre de grandeur de l'atténuation d'écran théorique.

Des études complémentaires sont en cours pour développer de manière plus exacte ces formules en vue de leur utilisation dans le cas de la chambre réverbérante.