

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1726**

Première édition
First edition
1995-05

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

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1726: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3
TECHNICAL
REPORT – TYPE 3**

**CEI
IEC
1726**

Première édition
First edition
1995-05

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

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

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Description de base de la méthode en chambre réverbérante	8
3 Mesure de l'atténuation d'écran d'un composant	10
4 Description du système de test	10
4.1 La chambre réverbérante	10
4.2 Le variateur de mode	10
4.3 Les antennes	10
4.4 Equipement de test	12
4.5 Composant sous test	14
4.6 Dispositifs de liaison	14
5 Procédure de mesure	14
5.1 Généralités	14
5.2 Mesure du composant sous test	16
5.3 Mesure des pertes d'insertion de la cavité	16
5.4 Vérification du système de test	18
5.5 Vitesse de rotation du variateur de mode	20
5.6 Fréquence de tests	20
5.7 ROS des composants, câbles et dispositifs sous test	20
6 Evaluation des résultats de test	22
6.1 Atténuation d'écran	22
6.2 Relation entre les paramètres d'impédance de transfert et l'atténuation d'écran	22
6.3 Champ électromagnétique dans l'environnement du composant sous test ..	24
7 Documents de référence	24
 Annexes	
A Description de la chambre réverbérante	26
B Le variateur de mode	28
C Exemple de calibreur	32
D Relation entre l'impédance de transfert et l'atténuation d'écran	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Basic features of the reverberation chamber method	9
3 Measurement of DUT screening attenuation	11
4 Test set-up description	11
4.1 The reverberation chamber	11
4.2 The mode stirrer	11
4.3 The antennas	11
4.4 Test equipment	13
4.5 Device under test	15
4.6 Linking devices	15
5 Measurement procedure	15
5.1 General	15
5.2 Measurement of the DUT	17
5.3 Measurement of the insertion loss of the cavity	17
5.4 Control of the test set-up	19
5.5 Revolution speed of the mode stirrer	21
5.6 Test frequencies	21
5.7 VSWR of components, cables and DUT	21
6 Evaluation of the test results	23
6.1 Screening attenuation	23
6.2 Relation between transfer impedance parameters and screening attenuation	23
6.3 Electromagnetic field in the surrounding of the DUT	25
7 Reference documents	25
Annexes	
A Design of the reverberation chamber	27
B The mode stirrer	29
C Example of calibrator	33
D Relation between transfer impedance and screening attenuation	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 Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

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 cooperation 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, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 1726, rapport technique de type 3, a été établie par le sous-comité 46A: Câbles coaxiaux, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs et accessoires pour communications et signalisation.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
46A(BC)174	46A(BC)177

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information

INTRODUCTION

Les exigences des composants électroniques modernes nécessitent la mesure de l'efficacité d'écran des composants hyperfréquence dans toute leur bande de fréquence d'utilisation. Des méthodes de tests adaptées existent pour les basses fréquences et pour les composants de formes extérieures régulières. Elles sont bien décrites dans les publications de la CEI. Une nouvelle méthode de test était nécessaire pour les hautes fréquences et pour les composants de formes extérieures irrégulières.

IEC 1726, which is a technical report of type 3, has been prepared by sub-committee 46A: Coaxial cables, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, r.f. connectors, and accessories for communication and signalling.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
46A(CO)174	46A(CO)177

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

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

INTRODUCTION

The requirements of modern electronic equipment demand for testing screening attenuation of microwave components in their whole frequency range. Convenient test methods exist for low frequencies and regularity shaped components. They are well described in IEC publications. A new test method was needed for higher frequencies and for irregularly shaped components.

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

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique décrit la méthode en chambre réverbérante appelée également quelquefois méthode à variateur de mode. Elle convient pour pratiquement n'importe quel type de composants hyperfréquences et n'a, en théorie, pas de limitation vers les hautes fréquences. Elle est simplement limitée vers les fréquences basses par la taille de l'équipement d'essai.

2 Description de base de la méthode en chambre réverbérante

La méthode en chambre réverbérante est utilisée pour la mesure de l'efficacité d'écran des composants hyperfréquence. Elle consiste à exposer le composant sous test à un champ électromagnétique quasiment homogène et isotrope et à mesurer le signal résiduel dans le composant.

Pour cela, on utilise une cage de Faraday qui fonctionne comme une cavité surdimensionnée en terme de longueur d'ondes et qui présente un facteur de qualité élevé. Ses conditions aux limites sont continuellement perturbées par une surface réfléchissante en rotation appelée variateur de mode, montée à l'intérieur de la chambre, et qui permet d'approcher les conditions d'homogénéité et d'isotropie du champ électromagnétique 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). Elle 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]*. On n'observe donc aucun effet directionnel. L'atténuation d'écran des composants électriquement courts peut être reliée directement aux paramètres habituels de l'impédance de transfert (Z_t et Z_r). Lorsque le composant n'est plus électriquement court, son efficacité d'écran peut encore être reliée à Z_t et Z_r 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.

* Les chiffres entre crochets renvoient à l'article 7, Documents de référence.

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

1 Scope

This technical report describes the reverberation chamber method, sometimes named mode stirred chamber, suitable for virtually any type of microwave component and having no theoretical upper limit. It is only limited toward low frequencies by the size of the test equipment.

2 Basic features of the reverberation chamber method

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

These conditions are achieved by the use of a shielded enclosure which acts as an over-sized cavity (in terms of wavelength) with a high quality factor. Its boundary conditions are continuously perturbed by a rotating reflective surface (mode stirrer), mounted within the chamber, which enables to approach the conditions of homogeneity and of isotropy of the field during one of its revolutions.

Electromagnetic power is fed to the chamber 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. It is strongly frequency dependent. It also depends on the quality factor of the cavity.

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

* Figures in square brackets refer to clause 7, Reference documents.

3 Mesure de l'atténuation d'écran d'un composant

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:

$$a_s = -10 \log (P_{DUT}/P_{REF}) \quad (1)$$

ou bien:

$$a_s = -10 \log (P_{DUT}/P_{INJ}) - \Delta_{ins} \quad (2)$$

où

P_{DUT} est la puissance couplée au composant sous test;

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

P_{INJ} est la puissance injectée à l'intérieur de la cavité;

Δ_{ins} sont les pertes d'insertion de la cavité en dB.

4 Description du système de test

4.1 La chambre réverbérante

La chambre réverbérante est une cage de Faraday qui a n'importe quelle forme, excepté le fait que sa plus petite dimension doit être plus grande que trois longueurs d'onde à la fréquence minimum de test. Pour optimiser les performances aux fréquences les plus basses, il est conseillé d'éviter les formes parfaitement cubiques. Les parois sont 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 son efficacité d'écran à la fréquence la plus élevée, qui doit toujours excéder 60 dB. Il faut noter que cette valeur n'est pas critique si l'analyseur de spectre et les dispositifs de connexion de l'équipement de mesure sont suffisamment bien blindés et si le facteur de qualité de la cavité reste suffisamment élevé. Pour contrôler le facteur de qualité, on vérifie 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 de test et l'instrumentation devront avoir, à chaque fréquence, une efficacité d'écran combinée supérieure d'au moins 10 dB à celle exigée pour le composant sous test.

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 on se référera à l'annexe A.

4.2 Le 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 de test la plus basse. L'annexe B décrit une construction possible du variateur de mode.

4.3 Les antennes

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

3 Measurement of DUT screening attenuation

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:

$$a_s = -10 \log (P_{\text{DUT}}/P_{\text{REF}}) \quad (1)$$

or:

$$a_s = -10 \log (P_{\text{DUT}}/P_{\text{INJ}}) - \Delta_{\text{ins}} \quad (2)$$

where

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

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

P_{INJ} is the power injected into the cavity;

Δ_{ins} is the insertion loss of the cavity in dB.

4 Test set-up description

4.1 The reverberation chamber

The reverberation chamber is a shielded enclosure having any shape except that its smallest dimension must exceed three wavelengths at the lowest test frequency. Perfectly 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.

Its upper frequency limit only depends on its screening attenuation, which should exceed 60 dB for the whole frequency range. Note that this value is not critical if the spectrum analyser 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 can be checked in 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. 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 feedthrough: two for the output of antennas and two for the output of the measuring loop. For further details see annex A.

4.2 The mode stirrer

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

4.3 The antennas

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

Il est pratique de garder la même antenne pour toute la bande de fréquence. Il faut noter que les antennes présentant une forte polarisation et directivité peuvent gêner la mesure par manque d'isotropie du champ. Il est possible de le vérifier en modifiant la position et l'orientation des antennes. Cela ne devrait pas modifier significativement les pertes d'insertion de la cavité.

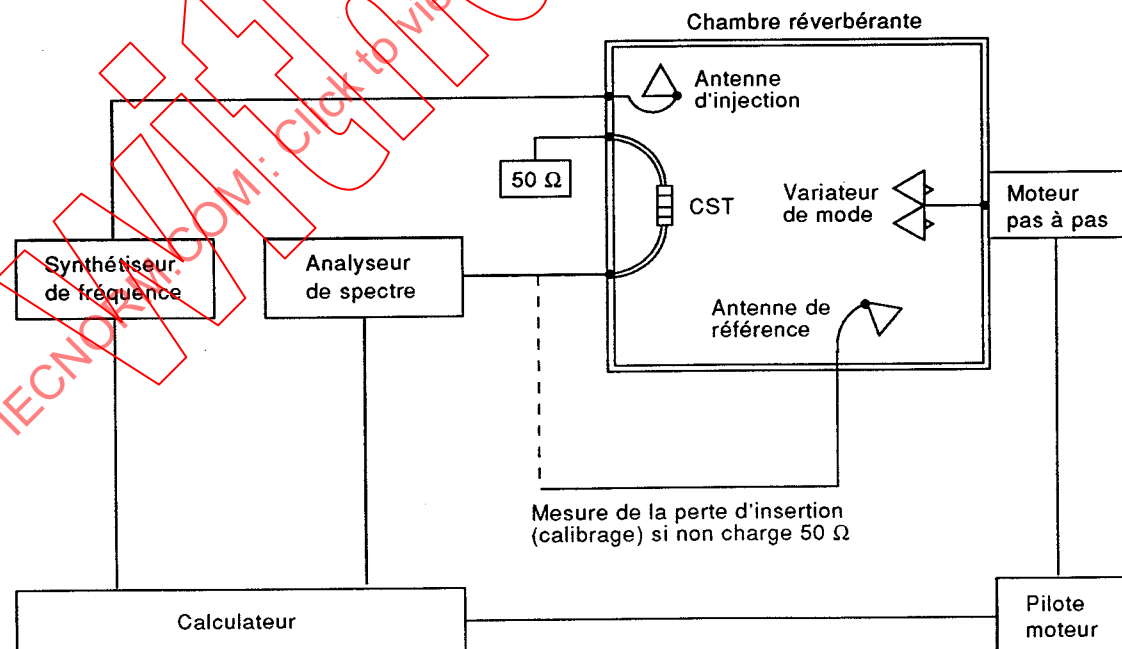
On peut utiliser une antenne filaire jusqu'à 10 GHz à 20 GHz. Sa longueur doit être supérieure à cinq longueurs d'onde à la fréquence de tests minimale. Elle doit être adaptée aux deux extrémités pour éviter toute résonance. Elle sera installée le long de deux côtés de la cage à une distance telle que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

On peut également utiliser les antennes cornet, en particulier pour les fréquences les plus élevées, à condition d'éviter tout couplage direct entre les antennes. Dans ce cas, 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.

4.4 Equipement de test

La figure 1 montre les principaux équipements de tests et composants nécessaires 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 synthétisé et l'analyseur de spectre devront avoir une fréquence de référence commune particulièrement stable.



CEI 401/95

Figure 1

It is convenient keeping the same antenna for the whole frequency range. Note that strongly polarized and directive antennas may disturb measurements by lack of isotropy of the field. This can be checked by modifying the location and the orientation of antennas. It should have no noticeable effect on the insertion loss of the cavity.

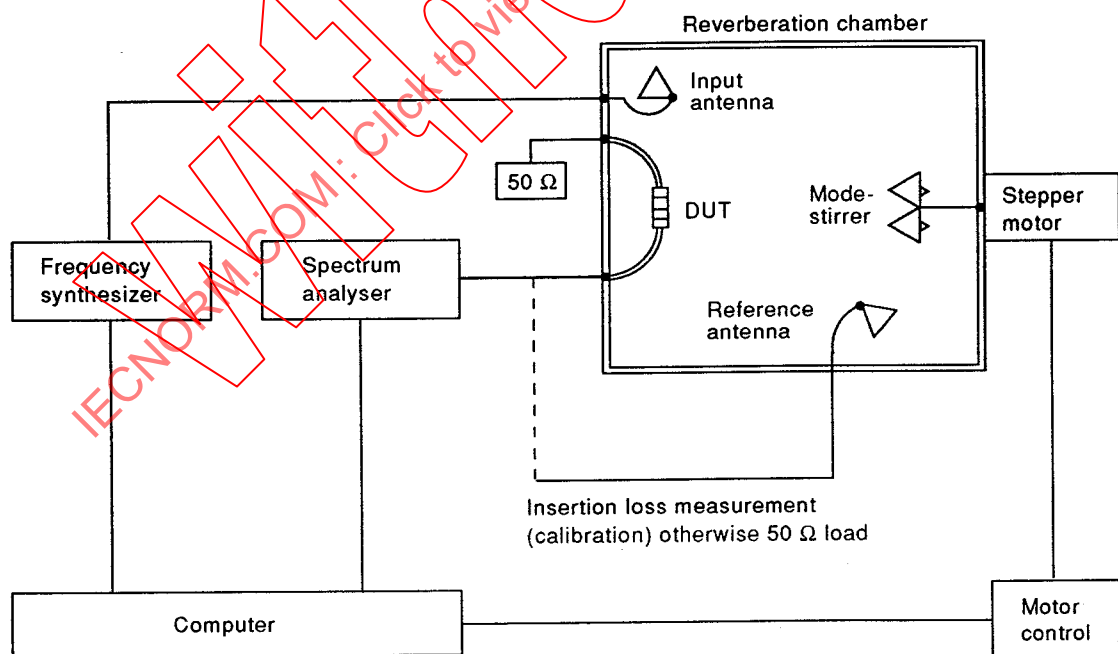
A wire antenna can be used up to 10 GHz to 20 GHz. Its length shall be greater than five wavelengths at the lowest test frequency. It shall be matched at both ends to avoid resonances. It shall circulate along two sides of the chamber, at such a distance that its input impedance remains superior to 300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

Horn antennas might also be used, especially for higher frequencies, provided that direct path coupling between antennas are avoided. In that case 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. Note that preamplifiers, amplifiers and other control equipments might also be used for improved performance.

The synthesized generator and the spectrum analyser shall have a common highly stable frequency reference.



IEC 401/95

Figure 1

4.5 Composant sous test

Pour éviter les résonances, le composant sous test 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. Les autres portes du composant sous test seront connectés sur des charges adaptées présentant une atténuation d'écran meilleure de 10 dB que celle du composant sous test. L'assemblage est alors placé à l'intérieur de la chambre avec n'importe quelle orientation et position. La zone de couplage devra se situer à une distance minimale des panneaux de la cage d'au moins une longueur d'onde à la fréquence la plus basse. Si le composant sous test est un câble, il ne doit pas être enroulé sur lui-même.

Les deux extrémités de la boucle sont connectées aux sorties de la chambre. Une extrémité est chargée sur son impédance caractéristique, l'autre connectée à l'analyseur de spectre. Il est également acceptable de charger le composant sous test 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 sous test, et l'autre à la paroi.

4.6 Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison sont habituellement des lignes coaxiales à 50 Ω, présentant une atténuation d'écran meilleure de 10 dB que celle du composant sous test. On utilisera de préférence des câbles semi-rigides.

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

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

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

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. X_L s'exprime en dB.

Ces corrections peuvent être intégrées au logiciel de test dans un système automatique. Elles devront être vérifiées périodiquement et au minimum lors de chaque calibrage du système de test.

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.

4.5 Device under test

To avoid resonances, the DUT is inserted into a loop (made of semi-rigid coaxial cable) which length should be 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 panels of one wavelength at lower frequency. If the DUT is a cable, it should not be coiled up.

Both ends of the loop are connected to the outputs of the chamber. One end is terminated with a matched load. The other one is connected to the spectrum analyser. It is also acceptable to terminate the DUT inside the chamber. In that case, the second leg of the loop should be replaced by a single wire, one end being electrically linked to the DUT, the other one to a panel of the chamber.

4.6 Linking devices

Linking devices are usually 50 Ω coaxial lines having a screening attenuation at least 10 dB better than the DUT. Semi-rigid cables should be used.

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

Formula (2) must be corrected taking into account the insertion losses of linking devices:

$$a_s = -10 \log_{10} (P_{DUT}/P_{INd}) - A_{ins} - X_L \quad (3)$$

where X_L is the insertion loss of all linking devices inside or outside the chamber. X_L is in dB.

These corrections can be made 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 Measurement procedure

5.1 General

Different approaches are acceptable depending on the performances 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.

Pour choisir une procédure de mesure, il faut remarquer que:

- l'échantillonnage par pas est lent et nécessite un grand nombre d'échantillons par tour du variateur de mode (200 d'habitude jusqu'à 20 GHz). D'un autre côté, cette procédure permet de réaliser des mesures plus exactes;
- 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 faites en watts 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 sous test

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

L'analyseur de spectre est connecté à la sortie du composant sous test. 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 la vitesse de révolution du variateur de mode.

Dans ce cas, la trace qui 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 de test.

5.3 Mesure des pertes d'insertion de la cavité

Le générateur synthétisé est connecté à l'antenne d'injection et délivre une puissance constante à une fréquence fixe. Le variateur de mode tourne à une vitesse constante. Tous les paramètres (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 durant la mesure du composant sous test.

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.

To choose a measurement procedure, it must be pointed out that:

- discrete tuning is slow and requires a large number of samples per revolution of the mode stirrer (200 is a usual value up to 20 GHz). On the other hand it enables to perform more accurate measurements.
- averaged power calculation during one revolution of the mode stirrer dramatically decreases the dynamic of the method. In that case acquisitions must be made in watts and not in dBm.

The measurement procedure described here is very economic for time but requires a modern and stable spectrum analyser.

5.2 *Measurement of the DUT*

The synthesized generator is connected to the input antenna and delivers a constant power at a fixed frequency. The mode stirrer rotates at a constant speed (for example 1 revolution per 5 s).

The spectrum analyser 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 equals one mode stirrer's revolution time.

In that case the trace which appears on the screen shows the evolution of the power as a function of the angular position of the mode stirrer.

After a complete revolution of the mode stirrer, the maximum value of the power is memorized.

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

The same procedure is repeated for all test frequencies.

5.3 *Measurement of the insertion loss of the cavity*

The synthesized generator is connected to the input antenna and delivers a constant power at a fixed frequency. The mode stirrer rotates at a constant speed. All parameters (rotation speed, spectrum analyser set up except for input attenuators and reference level) must be the same as during DUT measurement.

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

Les pertes d'insertion de la cavité sont alors calculées:

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

où

P_{INJ} est la puissance d'injection;

P_{REF} est la puissance de réception;

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

Δ_{ins} (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 de test pour un système automatique de mesure.

5.4 Vérification du système de test

5.4.1 Dynamique

Avant chaque série de mesure, la dynamique du montage de test doit être vérifiée en utilisant les mêmes dispositifs de liaison (câbles, connecteurs) et charges d'extrémité que pour le composant sous test. Le composant sous test sera 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 sous test.

5.4.2 Pertes d'insertion de la cavité

Si la perte d'insertion de la cavité est intégrée au logiciel de mesure dans un système automatique de test, sa pertinence sera vérifiée avant chaque série de mesure, en plaçant un composant sous test représentatif à l'intérieur de la chambre. L'analyseur de spectre sera connecté à la sortie de l'antenne de référence que l'on mesurera comme s'il s'agissait d'un composant sous test. Si on utilise un préamplificateur, il ne doit pas être surchargé. Dans ce cas, on ajoutera à la sortie de l'antenne de référence les atténuateurs calibrés nécessaires.

L'atténuation d'écran devra osciller (± 3 dB) autour d'une valeur de 0 dB ou autour de la valeur des atténuateurs lorsqu'ils sont utilisés. Un écart systématique indique que la modélisation des pertes d'insertion est incorrecte, soit en raison de la présence de matériaux dissipatifs (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. Un tel calibreur sera mesuré lors de chaque calibrage complet du système de test, et les valeurs seront comparées aux mesures précédentes. Cela permet de détecter toute dérive ou tout mauvais fonctionnement du système de test.

Le calibreur est en cours d'étude pour exprimer son atténuation d'écran théorique à partir des paramètres Z_t et Z_r , ce qui permettrait de qualifier l'équipement de mesure.

The insertion loss of the cavity is then calculated:

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

where

P_{INJ} is the input power;

P_{REF} is the output power;

X_L is the insertion loss of linking devices.

Δ_{ins} (a function of frequency) 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 can be either measured 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

Prior to any set of measurement the dynamic 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 shall be at least 10 dB better than the specification of the DUT.

5.4.2 Insertion loss of the cavity

If the insertion loss of the cavity is part of the programme, in an automated test system, its suitability will be checked before each set of measurements, a DUT being installed into the chamber. The spectrum analyser will 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. In that case adequate calibrated attenuators shall be added to the output of the reference antenna.

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

5.4.3 Measurement of a calibrator

A calibrator is a device of stable screening attenuation. An example of calibrator is given in annex C. Such a calibrator should be measured during full calibration of the test set-up, and compared to former measurements. It enables to detect any possible deviation or malfunctioning of the test set-up.

The calibrator is going on study to derive its theoretical screening attenuation from Z_t and Z_p , thus enabling to qualify test equipment.

5.4.4 *Mesure d'un composant dissipatif*

Des erreurs de mesure peuvent apparaître lorsqu'on mesure des composants dissipatifs, erreurs dues à la présence simultanée de trop peu de modes à l'intérieur de la chambre réverbérante. Ceci 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:

- 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 de garder la même vitesse de rotation et la même largeur de filtre d'analyse sur l'analyseur de spectre pour la mesure du composant sous test et pour la mesure des pertes d'insertion de la cavité; sinon, 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 de tests*

Pour la méthode en chambre réverbérante, l'atténuation d'écran peut varier de manière significative pour des fréquences rapprochées (± 3 dB). Ceci 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 que le résultat soit valable, il faut effectuer la mesure pour un nombre suffisant de points de fréquence. Cent points par décade est une valeur adéquate.

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

5.7 *ROS des composants, câbles et dispositifs sous test*

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 véhiculant le signal de l'antenne de référence ou du composant sous test.

Cette exigence peut être difficile à réaliser pour certains composants sous test. Dans ce cas, le rapport de test devra inclure une courbe du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. En tout état de cause, il ne devra pas dépasser -6 dB. Des atténuateurs de masquage peuvent également être utilisés. Les mesures seront également limitées au domaine de fréquence où seul le mode TEM peut se propager.

5.4.4 *Measurement of lossy DUT*

Some inaccuracy may occur when measuring lossy DUT, due to insufficient moding of the reverberation chamber. This can be checked in 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:

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

Due to both effects, the same revolution speed and the same bandwidth of the analysis filter of the spectrum analyser should be kept for both DUT and insertion loss measurements. Otherwise a systematic error up to 10 dB could appear for higher frequencies.

In practice one turn per 5 s is a good compromise between accuracy, measurement dynamic 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 keep accuracy, a sufficient number of test frequencies should be taken. One hundred points per decade is an adequate value.

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

5.7 *VSWR of components, cables and DUT*

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 from both the reference antenna and the DUT.

This requirement might be difficult to achieve for some DUT. In that case, a graph of the return loss versus frequency is to be included in the documentation. It should not exceed -6 dB. Masking attenuators might also be used. Measurement shall also be limited to the frequency range for which only TEM mode can propagate.

6 Evaluation des résultats de test

6.1 Atténuation d'écran

La méthode décrite permet de mesurer l'atténuation d'écran d'un composant. Pour la même raison qu'en 5.6, la courbe idéale n'est pas une courbe lisse. Quel que soit le pas de fréquence, la mesure oscille 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 377Ω . Il ne faut pas confondre les oscillations normales de la courbe avec des résonances propres aux composants sous test.

Les deux 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.

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:

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

où

Z_t et Z_f , sont les impédances de transfert inductives et capacitives;

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

Z_2 est égal à 377Ω .

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

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

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

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

et D est la longueur de la zone de couplage.

Pour de plus amples informations, se reporter à l'annexe D.

NOTES

1 L'expérience montre que ces formules conviennent bien jusqu'à 5 GHz. Aux fréquences plus élevées, elles doivent être utilisées avec précaution. La valeur significative pour des comparaisons doit alors rester l'atténuation d'écran.

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

3 Pour des câbles électriquement longs (plus que $0,1 \lambda$ à la fréquence de test la plus basse), l'atténuation d'écran devrait rester à peu près constante en fonction de la fréquence et de la longueur du composant sous test. Ce comportement s'explique à l'aide des fonctions de sommation.

6 Evaluation of the test results

6.1 Screening attenuation

By the described test method the screening attenuation of the DUT is measured. For the same reason as in 5.6, the ideal curve is not a smooth one. Whatever the frequency step is, the measures 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 must be taken not to confuse normal oscillations with resonances of the DUT.

They can be distinguished easily by subdividing the frequency step. In that case normal oscillations will still present the same aspect whereas a resonance peak will clearly appear.

6.2 Relation between transfer impedance parameters and screening attenuation

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

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

where

Z_t and Z_f are inductive and capacitive transfer impedances;

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:

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

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

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

and D is the length of the coupling zone.

For further information see annex D.

NOTES

1 Measurement experience shows that these formulas are convenient up to 5 GHz. For higher frequencies they must be used with caution. The right value for comparison should then remain the screening attenuation.

2 This method does not enable to calculate Z_t and Z_f separately. This is not usually a problem since Z_f is often equal to 0.

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. This behaviour can be explained with the summing function.

6.3 Champ électromagnétique dans l'environnement du composant sous test

A l'intérieur de la chambre réverbérante, le composant sous test est soumis à un champ électrique qui peut être évalué en utilisant la formule 7:

$$E = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{0,03}{F} \text{EXP}_{10} (P_{\text{inj}} - \Delta_{\text{ins}})/10} \quad (7)$$

où

E est le champ électrique en V/m;

λ est la longueur d'onde en m;

P_{inj} est la puissance électromagnétique injectée à l'intérieur de la cavité en dBm;

Δ_{ins} est la perte d'insertion de la cavité en dB;

F est l'efficacité de l'antenne de référence. En raison du manque de résultats expérimentaux sur l'efficacité d'antenne à l'intérieur d'une chambre réverbérante, F sera pris 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 (7). 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 sous test (d'habitude une valeur comprise entre 0 dB et 10 dB maximum).

Pour de plus amples informations voir l'annexe D.

7 Documents de référence

- [1] M.L. Crawford, G.H. Koepke, "Design, Evaluation and Use of a Reverberation Chamber for Performing Electromagnetic Susceptibility/Vulnerability Measurements". *Technical Note 1902*, National Bureau of Standards.
- [2] H. Kaden, "Loch und Schlitzkopplungen zwischen Koaxialen Leitungssystemen". *Z. Angew. Physik*, 3, 1951, 44.

6.3 Electromagnetic field in the surrounding of the DUT

Inside the reverberation chamber, the DUT is submitted to an electrical field which can be evaluated using formula 7:

$$E = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{0,03}{F} \text{EXP}_{10} (P_{\text{inj}} - \Delta_{\text{ins}})/10} \quad (7)$$

where

E is the electric field in V/m;

λ is the wavelength in m;

P_{inj} is the electromagnetic power injected into the cavity in dBm;

Δ_{ins} is the insertion loss of the cavity in dB;

F is the reference antenna efficiency. Due to lack of experimental results on antenna efficiency inside a reverberation chamber, F should be set to 1.

Screening attenuation inside a reverberation can be related to free space screening attenuation using formula (7). 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 annex D.

7 Reference documents

- [1] M.L. Crawford, G.H. Koepke, "Design, Evaluation and Use of a Reverberation Chamber for Performing Electromagnetic Susceptibility/Vulnerability Measurements". *Technical Note 1902*, National Bureau of Standards.
- [2] H. Kaden, "Loch und Schlitzkopplungen zwischen Koaxialen Leitungssystemen". *Z. Angew. Physik*, 3, 1951, 44.

Annexe A (informative)

Description de la chambre réverbérante

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

Le choix des dimensions d'une chambre doit avoir pour objectif 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 de tests dans [1].

Une autre méthode pour obtenir une chambre de tests 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. 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 d'insertion de la cavité selon 5.3. La densité de modes est considérée comme acceptable dès 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 the lower frequencies, the volume of the chamber should be as large as possible and the ratio of the squares of the chamber's linear dimensions should not be rational numbers. This will provide spatial fields uniformity and therefore accuracy in determining the shielding effectiveness of the test sample.

The objective in 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 dimensions of 1,164 m × 1,427 m × 1,487 m.

Further detail in calculating the optimum test chamber dimensions is given in [1].

An alternate way to design a test chamber providing 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. It enables to use chambers having two equal dimensions.

The lowest operating frequency for the chamber can be easily determined measuring the insertion loss δ of the cavity as per 5.3. Moding is considered to be acceptable as long as the oscillations of the curve for consecutive frequencies do not exceed 6 dB.

Annexe B (informative)

Le variateur de mode

Généralités

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

Sa réalisation est assurée 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.

La dimension «*d*» de la figure B.1 doit être au minimum de deux longueurs d'onde à la fréquence de test la plus basse (0,6 m à 1 GHz) et doit être aussi grande que l'espace disponible le permet.

Construction

La procédure ci-dessous est en accord avec les chiffres cerclés 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 de test 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 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 et la ligne (2) 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 degrés, 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 degrés.

- 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)

The mode stirrer

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

A metal shaft is attached to the centre 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 shall be a minimum of two wavelengths at the lowest test frequency (0,6 m at 1 GHz) and should be as large as available space will allow.

Construction

The following procedures are in accordance with the circled numbers of figure B.1:

- 1) Cut a rectangular aluminium sheet to conform to the overall dimensions shown on 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 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 sheet (5) parallel to short side for a distance of 0,18 d . Make a mark (6) on right-hand side a sheet at a distance of 0,215 d up from the lower right-hand corner.

Draw a line (7) from 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 centre 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 degrees 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 degree 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 degrés, 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.

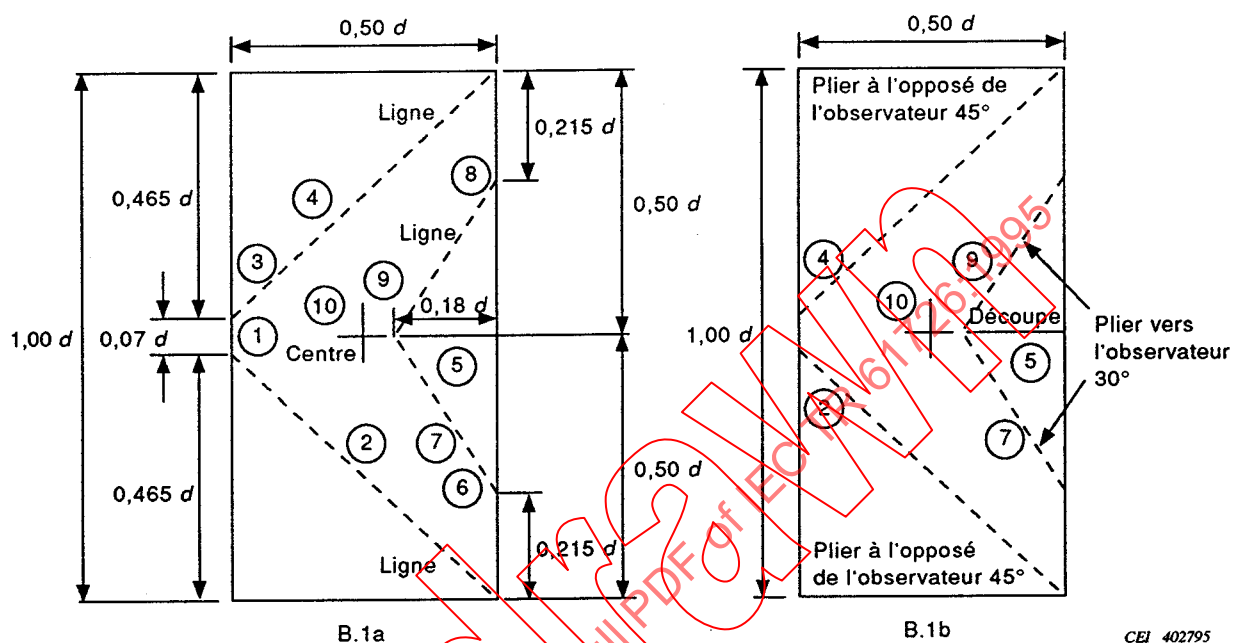


Figure B.1 - Schéma de construction du variateur de mode

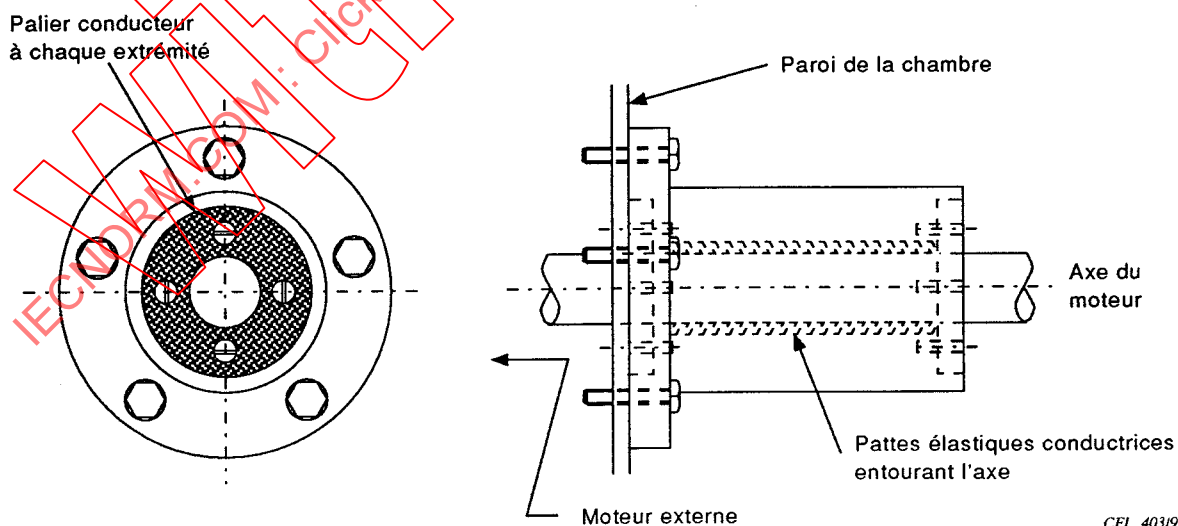
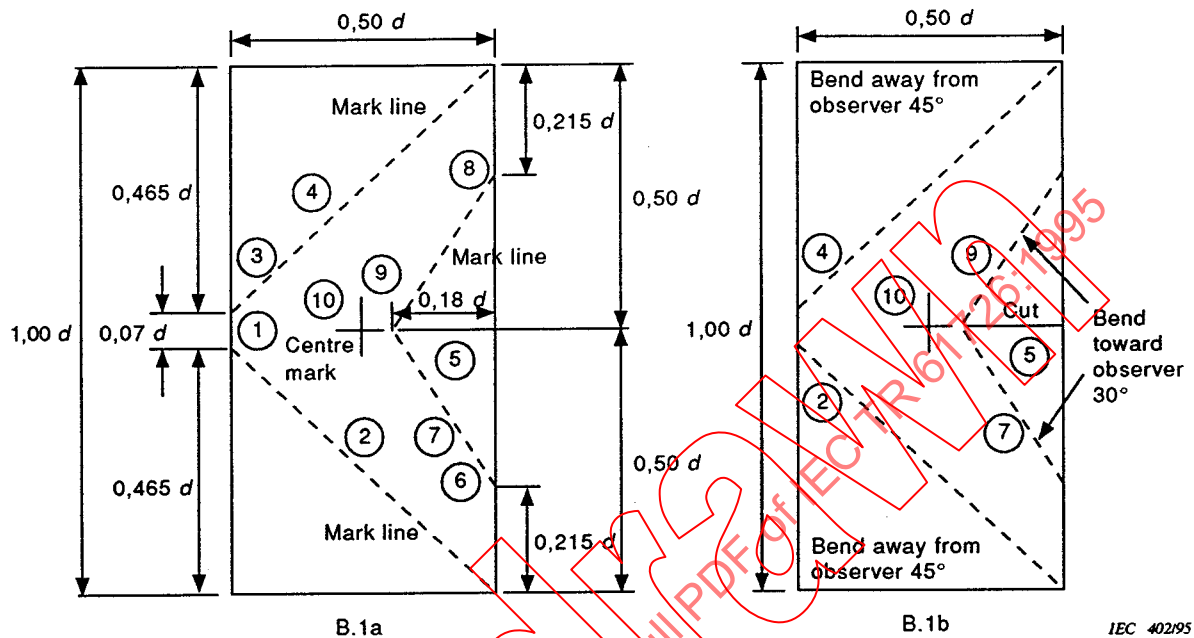


Figure B.2 - Détails de la bride de passage pour piloter le variateur de mode à travers la paroi de la chambre

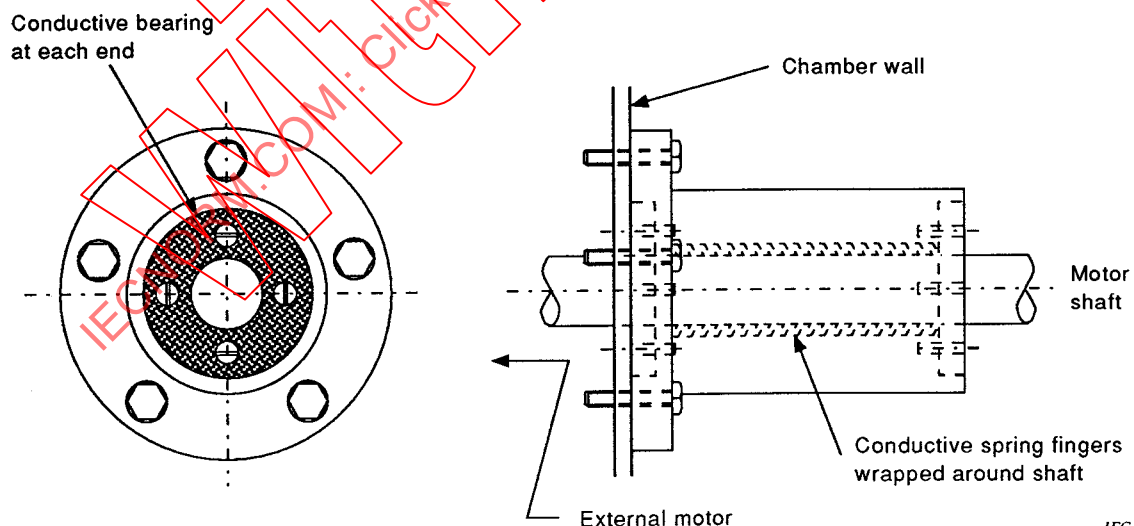
Hand-adjust this angle to be approximately 30 degrees measured with respect to the plane of the sheet. Repeat the same procedure to bend the triangle formed by the cut (5) and scribe (9). This triangle should also be bent toward the observer.

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



IEC 402/95

Figure B.1 - Construction diagram for mode-stirrer



IEC 403/95

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