

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61000-4-23

Première édition
First edition
2000-10

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 4-23:

**Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes d'essai pour les dispositifs
de protection pour perturbations IEMN-HA
et autres perturbations rayonnées**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 4-23:

**Testing and measurement techniques –
Test methods for protective devices for HEMP
and other radiated disturbances**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-4-23:2000

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61000-4-23

Première édition
First edition
2000-10

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 4-23:

**Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes d'essai pour les dispositifs
de protection pour perturbations IEMN-HA
et autres perturbations rayonnées**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 4-23:

**Testing and measurement techniques –
Test methods for protective devices for HEMP
and other radiated disturbances**

© IEC 2000 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XD

*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 Références normatives.....	8
3 Définitions.....	10
4 Concepts d'essai IEMN-HA	20
4.1 Essais sur enceinte de blindage	22
4.1.1 Bâtiments.....	28
4.1.2 Abris et salles	30
4.1.3 Coffrets, casiers et boîtiers.....	32
4.2 Essais de câbles et connecteurs blindés.....	36
4.2.1 Essais de blindage de câble	38
4.2.2 Essais de connecteurs de câble	42
4.3 Essais des matériaux de blindage	44
4.3.1 Joints conducteurs	44
4.3.2 Plaques et écrans conducteurs.....	48
4.3.3 Guides d'onde de coupure et nids d'abeille	54
4.4 Résumé des concepts d'essai	56
5 Procédures d'essai IEMN-HA	58
5.1 Essais de champ électromagnétique	58
5.1.1 Essais de champ d'impulsion.....	58
5.1.2 Essais de champ en ondes non modulées	66
5.2 Procédures d'essai d'injection de courant.....	94
5.2.1 Essais d'injection sur enceintes	94
5.2.2 Impédance et admittance de transfert des blindages de câble et connecteurs	98
5.2.3 Essai du matériau du joint	98
Annexe A (informative) Concepts d'essai IEMN-HA pour systèmes électriques.....	104
Annexe B (informative) Caractérisation des câbles blindés.....	120
Annexe C (informative) Matériel de mesure des impulsions IEMN-HA.....	130
Annexe D (informative) Matériel d'essai à ondes non modulées	148
Annexe E (informative) Caractérisation d'un blindage plan pour protection IEMN-HA.....	164
 Bibliographie	182

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
4 HEMP test concepts	21
4.1 Testing of shielding enclosures	23
4.1.1 Buildings	29
4.1.2 Shelters and rooms	31
4.1.3 Cabinets, racks and boxes	33
4.2 Testing of shielded cables and connectors	37
4.2.1 Testing of cable shields	39
4.2.2 Testing of cable connectors	43
4.3 Testing of shielding materials	45
4.3.1 Conducting gaskets	45
4.3.2 Conducting sheets and screens	49
4.3.3 Cut-off waveguides and honeycombs	55
4.4 Test concept summary	57
5 HEMP test procedures	59
5.1 Electromagnetic field testing	59
5.1.1 Pulse field testing	59
5.1.2 CW field testing	67
5.2 Current injection test procedures	95
5.2.1 Injection testing of enclosures	95
5.2.2 Transfer impedance and admittance of cable shields and connectors	99
5.2.3 Testing of gasket material	99
Annex A (informative) HEMP test concepts for electrical systems	105
Annex B (informative) Characterization of shielded cables	121
Annex C (informative) Equipment for HEMP pulse measurements	131
Annex D (informative) Equipment for CW testing	149
Annex E (informative) Characterization of a planar shield for HEMP protection	165
Bibliography	183

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-23: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai pour les dispositifs de protection pour perturbations IEMN-HA et autres perturbations rayonnées

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 61000-4-23 a été établie par le sous-comité 77C: Phénomènes transitoires de forte intensité, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de la CEI.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77C/92/FDIS	77C/97/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-23: Testing and measurement techniques –
Test methods for protective devices for HEMP
and other radiated disturbances****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 61000-4-23 has been prepared by subcommittee 77C: High power transient phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

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

FDIS	Report on voting
77C/92/FDIS	77C/97/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.

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

La présente norme fait partie de la série des normes 61000 de la CEI, selon la répartition suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas de la responsabilité des comités de produits)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guide pour l'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme Normes internationales, soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées en tant que sections. D'autres seront publiées sous le numéro de la partie, suivi d'un tiret et complété d'un second chiffre identifiant la subdivision (exemple 61000-6-1).

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts and published either as International Standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example: 61000-6-1).

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-23: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai pour les dispositifs de protection pour perturbations IEMN-HA et autres perturbations rayonnées

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 étudie les principales raisons justifiant les essais pratiqués sur les dispositifs IEMN-HA et fournit une courte description des concepts les plus importants relatifs aux essais des éléments de blindage. Pour chaque essai, les informations de base suivantes sont fournies:

- fondement théorique de l'essai (le concept d'essai);
- montage d'essai;
- matériel requis;
- procédures d'essai;
- traitement de données.

La présente Norme internationale ne fournit aucune information concernant les prescriptions relatives à des niveaux d'essai spécifiques.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61000. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61000 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(161), *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60096-1:1986, *Câbles pour fréquences radioélectriques – Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure*

CEI 60625 (toutes les parties), *Instruments de mesurage programmables – Système d'interface (bits parallèles, octets série)*

CEI 61000-2-9, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 9: Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations radiantes. Publication fondamentale en CEM*

CEI 61000-5-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-3: Guides d'installation et d'atténuation – Concepts de protection IEMN-HA. Publication fondamentale en CEM*

ANSI/IEEE Std 488.1:1987, *Standard IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, 02-Feb-1988*

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-23: Testing and measurement techniques – Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances

1 Scope

This part of IEC 61000 provides the basic reasons behind HEMP testing and gives a brief description of the most important concepts for shielding element testing. For each test, the following basic information is provided:

- theoretical foundation of the test (the test concept);
- test set-up;
- required equipment;
- test procedures;
- data processing.

This International Standard does not provide information on requirements for specific levels for testing.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61000. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 61000 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(161), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60096-1:1986, *Radio-frequency cables – Part 1: General requirements and measuring methods*

IEC 60625 (all parts), *Programmable measuring instruments – Interface system (byte serial, bit parallel)*

IEC 61000-2-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance. Basic EMC publication*

IEC 61000-5-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-3: Installation and mitigation guidelines – HEMP protection concepts. Basic EMC publication*

ANSI/IEEE Std 488.1:1987, *Standard IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, 02-Feb-1988*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61000, les définitions suivantes et celles de la CEI 60050(161) s'appliquent.

3.1

ouverture

interruption dans la barrière électromagnétique (blindage) par laquelle des champs électromagnétiques peuvent pénétrer

3.2

point d'entrée d'ouverture

points incluant les trous, craquelures et ouvertures prévus ou non, ainsi que d'autres discontinuités au niveau de la surface de blindage du système

NOTE Des points d'entrée sont prévus pour permettre l'entrée et la sortie du personnel et/ou du matériel, ainsi que pour la ventilation au travers d'une barrière électromagnétique.

3.3

atténuation

réduction d'amplitude (résultant de l'absorption et de la diffraction) d'un champ électrique ou magnétique, d'un courant ou d'une tension, généralement exprimée en décibels

3.4

largeur de bande

3.4.1

largeur de bande d'un dispositif

largeur de la bande de fréquences à l'intérieur de laquelle une caractéristique donnée d'un appareil ou d'une voie de transmission ne s'écarte pas d'une valeur de référence de plus d'une quantité spécifiée en valeur absolue ou relative
[VEI 161-06-09]

3.4.2

largeur de bande d'une émission ou d'un signal

largeur d'une bande de fréquences à l'extérieur de laquelle toute composante spectrale ne dépasse pas un pourcentage spécifié d'un niveau de référence
[VEI 161-06-10]

3.5

simulateur à onde confinée

type de simulateur permettant de produire des champs électromagnétiques dans une région bien délimitée de l'espace appelée «volume d'essai»

3.6

boîte

enceinte qui contient un équipement électrique

NOTE Ces boîtes contiennent généralement des modules de sous-systèmes.

3.7

large bande

3.7.1

émission à large bande

émission dont la largeur de bande est supérieure à celle d'un récepteur ou d'un appareil de mesure donné

[VEI 161-06-11]

3 Definitions

For the purposes of this part of IEC 61000, the following definitions, together with those in IEC 60050(161) apply.

3.1

aperture

opening in an electromagnetic barrier (shield) through which EM fields may penetrate

3.2

aperture point-of-entry

aperture port-of-entry

aperture points-of-entry including intentional or inadvertent holes, cracks, openings or other discontinuities in a shield surface

NOTE Intentional aperture points of entry are provided for personnel and/or equipment entry and egress and for ventilation through an electromagnetic barrier.

3.3

attenuation

reduction in magnitude (as a result of absorption and scattering) of an electric or magnetic field, a current or a voltage, usually expressed in decibels

3.4

bandwidth

3.4.1

(of a device)

width of a frequency band over which a given characteristic of an equipment or transmission channel does not differ from its reference value by more than a specified amount or ratio [IEV 161-06-09]

3.4.2

(of an emission or signal)

width of the frequency band outside which the level of any spectral component does not exceed a specified percentage of a reference level [IEV 161-06-10]

3.5

bounded wave simulator

type of simulator for producing electromagnetic fields in a localized region of space referred to as a "test volume"

3.6

box

enclosure that contains electrical equipment

NOTE Such boxes usually contain modules of subsystems.

3.7

broadband

wideband

3.7.1

(of an emission)

emission which has a bandwidth greater than that of a particular measuring apparatus or receiver [IEV 161-06-11]

3.7.2

dispositif à large bande

dispositif dont la largeur de bande est telle qu'il peut recevoir et traiter toutes les composantes spectrales d'une émission donnée

[VEI 161-06-12]

3.8

circuit

ensemble d'éléments électroniques interconnectés formant un ou plusieurs chemins fermés

3.9

point d'entrée conducteur

conducteur à pénétration

fil, câble électrique ou autre objet conducteur, tel qu'une tige métallique, traversant la barrière électromagnétique

3.10

couplage

interaction de champs électromagnétiques et de circuits électriques au cours de laquelle une partie de l'énergie du champ est transférée au circuit

3.11

injection de courant

processus dans lequel, par l'intermédiaire de moyens extérieurs, on introduit un courant dans un circuit à un endroit souhaité. Dans le cadre des essais IEM, il s'agit d'un processus suivant lequel on introduit des impulsions de courant transitoires IEM simulées dans un composant, un circuit ou un système en fonctionnement afin de mesurer les seuils d'endommagement et de perturbation

3.12

essai par injection de courant

CIT

technique d'essai utilisant l'injection de courant

3.13

fréquence de coupure (pour un guide d'onde)

la fréquence la plus basse pour laquelle il n'y a pas d'atténuation des champs électromagnétiques se propageant dans un guide d'onde sans pertes. Au dessous de cette fréquence, les champs diminuent exponentiellement avec la distance le long du guide d'onde

3.14

dipôle

antenne droite, généralement alimentée en son centre, produisant un rayonnement maximal dans un plan normal à son axe principal

3.15

essai direct

excitation d'un système électrique par l'application directe d'une tension ou l'injection directe d'un courant (transitoire ou en régime permanent) dans un système de câbles ou sur une surface afin de simuler les effets d'une impulsion EM transitoire (voir injection de courant)

3.16

pénétration de champ directe

pénétration du blindage du système par le champ EM

3.7.2**(device)**

device whose bandwidth is such that it is able to accept and process all the spectral components of a particular emission
[IEV 161-06-12]

3.8**circuit**

collection of interconnected electronics forming one or more closed paths

3.9**conductive point-of-entry****conductive port-of-entry****penetrating conductor**

electrical wire or cable or other conductive object, such as a metal rod, which passes through the electromagnetic barrier

3.10**coupling**

interaction of electromagnetic fields with electrical systems, whereby part of the energy of the field is transferred to the system

3.11**current injection**

process, by which through some external means, a current is forced to flow in a circuit at a desired location. For EMP testing purposes, it is a process by which simulated EMP transient current pulses are introduced into a component, circuit or system to measure damage or upset thresholds

3.12**current injection test****CIT**

test technique using current injection

3.13**cut-off frequency (for a waveguide)**

lowest frequency for which there is no attenuation of the electromagnetic fields propagating in a lossless waveguide. Below this frequency, the fields attenuate exponentially with distance along the waveguide

3.14**dipole**

straight antenna, usually fed in the centre, that produces maximum radiation in a plane normal to its principal axis

3.15**direct drive**

excitation of an electrical system by directly applying a voltage or current source (either transient or continuous wave) to system cables or surfaces as a means of simulating the effects of transient EM pulses (see current injection)

3.16**direct field penetration**

penetration of the system shielding by the EM field

3.17

direction de propagation

direction du vecteur de propagation k d'une onde électromagnétique plane, perpendiculaire au plan contenant les vecteurs des champs électriques et magnétiques

3.18

intensité de champ électrique

E

amplitude du vecteur de champ électrique d'une onde électromagnétique ou d'un champ créé par une répartition de charge électrique, mesurée en volts par mètre

3.19

barrière électromagnétique blindage

surface topologiquement fermée réalisée afin d'empêcher ou de limiter la pénétration des champs EM et des transitoires conduits dans l'espace clos. La barrière comprend la surface de blindage et les points d'entrée protégés et inclut le volume protégé

3.20

perturbation électromagnétique

phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système, ou d'affecter défavorablement la matière vivante ou inerte

[VEI 161-01-05]

3.21

environnement électromagnétique

ensemble des phénomènes électromagnétiques existant à un endroit donné

[VEI 161-01-01]

3.22

impulsion électromagnétique (IEM) impulsion électromagnétique nucléaire (IEMN)

tout type de champ électromagnétique produit par une explosion nucléaire. Appelée quelques fois aussi impulsion électromagnétique nucléaire (IEMN)

3.23

rayonnement électromagnétique

a) processus par lequel une source fournit de l'énergie vers l'espace extérieur, sous forme d'ondes électromagnétiques

b) énergie transportée dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques

[VEI 161-01-10]

3.24

topologie électromagnétique

description de l'interconnexion des blindages ou des barrières d'un système, délimitant l'environnement IEM dans le système

3.25

couplage externe

processus par lequel un champ électromagnétique incident illumine les parties externes d'une enceinte en matériau conducteur et induit sur celle-ci un courant et une charge

3.17**direction of propagation**

direction of the electromagnetic plane-wave propagation vector k , which is perpendicular to the plane containing the vectors of the electric and the magnetic fields

3.18**electric field strength****E**

magnitude of the electric field vector of an electromagnetic wave, or of a field created by an electric charge distribution measured in volts per metre

3.19**electromagnetic barrier
shield**

topologically closed surface made to prevent or limit EM fields and conducted transients from entering the enclosed space. The barrier consists of the shield surface and points-of-entry treatments, and it encloses the protected volume

3.20**electromagnetic disturbance**

any electromagnetic phenomenon which may degrade the performance of a device, equipment or system, or adversely affect living or inert matter
[IEV 161-01-05]

3.21**electromagnetic environment**

totality of electromagnetic phenomena existing at a given location
[IEV 161-01-01]

3.22**electromagnetic pulse (EMP)
nuclear electromagnetic pulse (NEMP)**

all types of electromagnetic fields produced by a nuclear explosion. Also referred to as nuclear electromagnetic pulse (NEMP)

3.23**electromagnetic radiation**

a) phenomenon by which energy in the form of electromagnetic waves emanates from a source into space

b) energy transferred through space in the form of electromagnetic waves

[IEV 161-01-10]

3.24**electromagnetic topology**

description of the interconnection of shields or electromagnetic barriers in a system that limit the EMP environment within the system

3.25**external coupling**

process by which an incident electromagnetic field strikes the exterior portions of a conducting system enclosure and induces current and charge

3.26

joint

élément flexible, généralement conducteur, utilisé pour sceller une ouverture dans une enceinte

3.27

durcissement

processus consistant à réduire la vulnérabilité d'un système ou d'un composant par des techniques de conception, par exemple en fournissant une protection ou un découplage par rapport à un environnement extérieur indésirable, tel que l'IEM

3.28

impulsion électromagnétique à haute altitude

IEM-HA

impulsion électromagnétique produite lorsqu'une explosion nucléaire survient en dehors de l'atmosphère terrestre, généralement au-delà de 30 km

3.29

intensité de champ magnétique

H

amplitude du vecteur de champ magnétique d'une onde électromagnétique ou champ généré par un courant qui s'écoule dans un fil, une antenne cadre, etc.

3.30

blindage global

protection d'une entité entière grâce à l'utilisation d'une enceinte de blindage unique ou d'un équivalent pratique, par exemple la protection du contenu d'un bâtiment entier par blindage de l'ensemble du bâtiment

3.31

simulateur IEM à plaques parallèles

appareil d'essai utilisant le champ électromagnétique existant entre les plaques d'une ligne de transmission parallèle afin de simuler approximativement une IEM. L'appareil comprend généralement un générateur d'impulsions, des prises d'entrée et de sortie sur la ligne ainsi qu'une résistance de terminaison adaptée servant à minimiser les réflexions

3.32

pénétration

transfert d'énergie électromagnétique d'un volume à un autre au travers d'une barrière électromagnétique. Ce transfert peut s'effectuer par diffusion du champ au travers de la barrière, par des fuites du champ à travers des ouvertures et par un courant électrique passant par des conducteurs reliant les deux volumes (fils, câbles, tubes, tuyaux, conduits, etc.)

3.33

point d'entrée

PoE

emplacement physique (point) sur la barrière électromagnétique, au niveau duquel l'énergie EM est susceptible de pénétrer dans un volume topologique ou d'en sortir, à moins qu'un dispositif de protection adéquat ne soit installé. Un point d'entrée n'est pas délimité par un point géométrique. Les points d'entrée sont divisés en points d'entrée d'ouverture ou en points d'entrée à conducteur en fonction du type de pénétration. Ils sont également subdivisés en points d'entrée architecturaux, mécaniques, structurels ou électriques en fonction du cadre architectural dans lequel on les rencontre le plus fréquemment

3.26**gasket**

flexible element, normally electrically conductive, used to seal an aperture in an enclosure

3.27**hardening**

the process of decreasing vulnerability of a system or component by design techniques, e.g. protecting against, or decoupling from, an undesirable external environment, such as EMP

3.28**high-altitude electromagnetic pulse****HEMP**

electromagnetic pulse produced when a nuclear explosion occurs outside the earth's atmosphere, typically above an altitude of 30 km

3.29**magnetic field strength****H**

magnitude of the magnetic field vector of an electromagnetic wave, or the field produced by a current flowing in a wire, loop antenna, etc.

3.30**overall shielding****global shielding**

protection of an entire entity by use of a single shielding enclosure or some practical equivalent, such as the protection of the contents of an entire building by shielding the entire building

3.31**parallel plate EMP simulator**

test apparatus using the electromagnetic field between the plates of a parallel plate transmission line to approximate an EMP. The apparatus usually consists of a pulse generator, tapered input and output sections on the line, and a terminating resistor to minimize reflections

3.32**penetration**

transfer of electromagnetic energy through an electromagnetic barrier from one volume to another. This can occur by field diffusion through the barrier, by field leakage through apertures, and by electrical current passing through conductors connecting the two volumes (wires, cables, conduits, pipes, ducts, etc.)

3.33**point-of-entry (PoE)****port-of-entry (PoE)**

physical location (point/port) on the electromagnetic barrier, where EM energy may enter or exit a topological volume, unless an adequate PoE protective device is provided. A PoE is not limited to a geometrical point. PoEs are classified as aperture PoEs or conductor PoEs according to the type of penetration. They are also classified as architectural, mechanical, structural or electrical PoEs according to the architectural engineering discipline in which they are usually encountered

3.34

dispositif de protection de point d'entrée

traitement de point d'entrée

mesure protectrice utilisée pour empêcher ou limiter la pénétration de l'énergie EM dans un volume protégé au niveau d'un point d'entrée. Les dispositifs de protection de points d'entrée courants comprennent des guides d'onde en dessous de la fréquence de coupure, des plaques de fermeture dans le cas des points d'entrée d'ouverture, ainsi que des filtres et limiteurs de surtension au niveau des conducteurs à pénétration

3.35

volume protégé

espace tridimensionnel délimité par une barrière électromagnétique

3.36

impulsion

variation brusque et de courte durée d'une grandeur physique suivie d'un retour rapide à sa valeur initiale

[VEI 161-02-02]

3.37

radiofréquence

RF

fréquence située, dans le spectre électromagnétique, entre la fréquence audio et l'infrarouge

NOTE Les fréquences audio sont parfois aussi intégrées dans cette définition.

3.38

champs de pénétration du blindage

champs présents à l'intérieur d'une enceinte blindée. Les champs intérieurs existent parce que le blindage est fait de matériaux à conductivité finie et lorsqu'il n'est pas parfait (présente des trous, ouvertures)

3.39

cage de Faraday

enceinte fermée par des parois métalliques pleines ou grillagées, destinée à séparer électromagnétiquement l'intérieur et l'extérieur

[VEI 161-04-37]

3.40

dégradation du blindage

réduction générale ou localisée de l'efficacité du blindage électromagnétique due à la présence d'ouvertures, à des pénétrations, à l'usure, à une mauvaise utilisation, etc.

3.41

efficacité de blindage

mesure de la réduction ou de l'atténuation de l'intensité du champ électromagnétique en un point de l'espace, provoquée par l'insertion d'un blindage entre la source et ce point, généralement exprimée en décibels (dB)

3.42

effet de peau

tendance du courant alternatif à se concentrer dans la couche superficielle d'un conducteur. Il en résulte que la résistance effective du conducteur augmente avec la fréquence

3.34**PoE protective device****PoE treatment**

protective measure used to prevent or limit EM energy from entering a protected volume at a PoE. Common PoE protective devices include waveguides below cut-off, closure plates for aperture PoEs, and filters and surge arresters on penetrating conductors

3.35**protected volume**

three-dimensional space enclosed by an electromagnetic barrier

3.36**pulse**

abrupt variation of short duration of a physical quantity followed by a rapid return to the initial value

[IEV 161-02-02]

3.37**radiofrequency****RF**

frequency of the electromagnetic spectrum that is between the audiofrequency portion and the infrared portion

NOTE Sometimes audiofrequencies are considered to be included.

3.38**shield penetrating fields**

interior fields which are found in a shielded enclosure. Such interior fields exist because the shield is made of finitely conducting material and when it is imperfect (by having holes or other apertures)

3.39**shielded enclosure
screened room**

mesh or sheet metallic housing designed expressly for the purpose of separating electromagnetically the internal and external environment

[IEV 161-04-37]

3.40**shielding degradation**

general or localized reduction of electromagnetic shielding effectiveness as a result of openings, penetrations, wear, improper utilization, etc.

3.41**shielding effectiveness**

measure of the reduction or attenuation in the electromagnetic field strength at a point in space caused by the insertion of a shield between the source and that point, usually expressed in decibels (dB)

3.42**skin effect**

tendency of alternating current to concentrate in the surface layer of a conductor. As a result, the effective resistance of the conductor increases with frequency

3.43

système

- a) regroupement de sous-systèmes, ensembles et/ou composants fonctionnant ensemble de façon cohérente afin de remplir une mission de base
- b) ensemble de dispositifs, sous-systèmes, personnel qualifié et techniques pouvant réaliser ou remplir un rôle opérationnel défini. Un système complet comprend les installations, dispositifs, sous-systèmes, matériaux, services et personnel associés requis pour assurer son fonctionnement selon un degré jugé suffisant dans son environnement de fonctionnement et de support

3.44

transitoire

se dit d'un phénomène ou d'une grandeur qui varie entre deux régimes établis consécutifs dans un intervalle de temps relativement court à l'échelle des temps considérée [VEI 161-02-01]

3.45

dispositifs de protection contre les transitoires

dispositif de protection contre les transitoires (TPD) fournissant une protection à un point d'entrée conducteur. Il peut, par exemple, inclure un ou plusieurs des éléments suivants: éclateur, varistance à oxyde métallique (MOV) ou filtre. Ces dispositifs sont utilisés pour réduire la contrainte électrique pénétrant une barrière électromagnétique

3.46

impédance d'onde

rapport entre l'intensité de champ électrique et l'intensité de champ magnétique au niveau du point d'observation, exprimé en ohms (Ω)

3.47

guide d'onde en dessous de la fréquence de coupure

guide d'onde dont le principal objectif est d'atténuer les ondes électromagnétiques au niveau de fréquences inférieures à la fréquence de coupure la plus basse, tout en permettant l'existence d'une ouverture physique à travers une enceinte blindée

3.48

ensemble de guides d'onde en dessous de la fréquence de coupure

ensemble de guides d'onde parallèles en dessous de la fréquence de coupure, utilisé lorsque la surface d'une ouverture blindée nécessaire pour obtenir un flux liquide ou gazeux compris dans les limites de chute de pression dépasse la valeur autorisée pour un guide d'onde unique, en dessous de la fréquence de coupure

3.49

treillis métallique

maille de fils soudés utilisée normalement pour protéger les ouvertures dans une barrière électromagnétique

4 Concepts d'essai IEMN-HA

La description et l'utilisation de la *topologie du blindage électromagnétique* du système constitue un des aspects clés de la protection IEMN-HA. Il s'agit de localiser et de caractériser les diverses surfaces (ou barrières électromagnétiques) comprises dans les régions (volumes) englobant le système, protégées contre l'IEMN-HA. Généralement, ces surfaces sont réalisées dans un matériau conducteur, comme dans le cas d'un blindage métallique. Dans les systèmes réels, des ouvertures doivent être pratiquées dans les blindages afin de permettre une exploitation normale du matériel à l'intérieur. Ces ouvertures dégradent le blindage et, si la dégradation est trop importante, divers types de dispositifs de protection IEMN-HA doivent être installés au niveau de ces points de pénétration du blindage. Les emplacements des divers points de pénétration et les types de dispositifs de protection déterminent l'emplacement et le type des essais à réaliser pour vérifier le blindage du système.

3.43**system**

- a) collection of subsystems, assemblies and/or components that function together in a coherent way to accomplish a basic mission
- b) collection of equipment, subsystems, skilled personnel, and techniques capable of performing or supporting a defined operational role. A complete system includes related facilities, equipment, subsystems, materials, services and personnel required for its operation to the degree that it can be considered self-sufficient within its operational or support environment

3.44**transient**

pertaining to or designating a phenomenon or a quantity which varies between two consecutive steady states during a time interval short compared with the time-scale of interest [IEV 161-02-01]

3.45**transient protection devices****TPD**

transient suppression devices

transient attenuation devices

device providing protection to a conductive PoE. It may, for example, consist of one or more of the following: a spark gap, a metal oxide varistor (MOV) or a filter. These devices are used to reduce the electrical disturbance which penetrates an electromagnetic barrier

3.46**wave impedance**

ratio of electric field intensity to magnetic field intensity at the point of observation, expressed in ohms (Ω)

3.47**waveguide below cut-off**

waveguide whose primary purpose is to attenuate electromagnetic waves at frequencies below its lowest cut-off frequency, while at the same time providing a physical opening into a shielded enclosure

3.48**waveguide below cut-off array**

assembly of parallel waveguides below cut-off, used when the area of a shield aperture required to obtain adequate fluid or air flow within pressure drop limitations is larger than the permissible area of a single waveguide below cut-off

3.49**wire mesh**

connected wire fabric normally used for protection of apertures in an electromagnetic barrier

4 HEMP test concepts

A key aspect in HEMP protection is describing and using the *electromagnetic shielding topology* of the system. This amounts to locating and characterizing the various surfaces (or electromagnetic barriers) within the system enclosing regions (volumes) protected against HEMP. Usually, these surfaces are made of conducting material, as in the case of a metal shield. In real systems, openings shall be present in the shields for the normal operation and functioning of the equipment inside. These openings degrade the shielding, and if the degradation is too large, various types of HEMP protection devices shall be provided at these penetration points in the shield. The location of the various penetration points, and the types of protective devices determine the location and type of test to be conducted to verify the system shielding.

A titre d'exemple, étudions le cas hypothétique d'un bâtiment comportant une salle fortement blindée. A l'intérieur de cette salle, supposons que plusieurs boîtiers de matériel sont reliés par des câbles et des connecteurs blindés. La première surface de blindage de ce système est constituée par l'enceinte du bâtiment. En fonction du type de bâtiment, elle peut constituer ou non un blindage important pour le volume intérieur. De larges ouvertures sous la forme de portes et de fenêtres ainsi que des éléments de pénétration conducteurs pour les lignes d'alimentation électrique et de communication peuvent exister. Il est nécessaire d'effectuer des essais au niveau de ces mécanismes de pénétration individuels afin d'évaluer le blindage fourni par cette enceinte.

A l'intérieur du bâtiment, le champ IEMN-HA est quelque peu atténué par les parois ou l'enceinte du bâtiment. Ainsi, la contrainte électrique subie par la salle blindée interne est inférieure à celle du champ IEMN-HA extérieur ambiant. La salle blindée interne étant spécifiquement conçue pour réduire les champs EM à l'intérieur, on peut prévoir qu'elle fonctionne correctement – si les divers dispositifs de protection appliqués au niveau des pénétrations de blindage sont opérationnels. Les pénétrations de champ au travers de craquelures et de jointures dans les parois, la diffusion au travers du matériau de blindage et les pénétrations conductrices le long des fils de transmission constituent les principaux points de fuite d'énergie dans la salle blindée.

A l'intérieur de la salle blindée, les éléments conducteurs extérieurs du boîtier du matériel et les câbles blindés forment la troisième barrière de ce système hypothétique. Comme auparavant, l'énergie EM peut pénétrer dans ces boîtiers intérieurs par des éléments de pénétration conducteurs, des ouvertures et par diffusion. De plus, une pénétration d'énergie au travers de câbles tressés et de connecteurs peut se produire sur les lignes reliant les différentes enceintes de matériel internes.

L'annexe A décrit des concepts d'essai pour les perturbations conductrices et pour les perturbations rayonnées. Le présent article décrit diverses méthodes d'essais des mesures de protection contre l'environnement IEMN-HA rayonné uniquement. Ces essais impliquent la production directe de champs EM agissant sur des enceintes ou blindages de matériel, ou l'injection de courant et de charge sur des blindages, dans le but de simuler l'interaction de champs rayonnés au niveau des structures. Cet article fournit également une brève introduction aux concepts et techniques d'essai IEMN-HA concernant les perturbations de champ rayonné. Les procédures d'essai spécifiques sont présentées à l'article 5.

4.1 Essais sur enceinte de blindage

Le comportement des enceintes de protection peut être caractérisé de diverses manières. Ci-dessous, divers concepts d'essai servant à décrire le comportement des éléments de blindage individuels en question sont examinés. La manière dont l'élément de protection fonctionne dans la séquence d'interactions globale, conduisant à la réaction finale du système vis-à-vis de l'IEMN-HA, n'est pas considérée ici. Les aspects d'évaluation détaillée du système, appelés essais «fumée» ou contrôle rapide et les questions de perturbation du système, qui se fondent sur l'observation de l'ensemble des effets de niveaux de système, ne sont pas non plus considérés; il convient de consulter l'annexe A pour plus d'informations concernant ces types d'essai IEMN-HA. Ce sont plutôt les méthodes d'essai utilisées pour vérifier les niveaux de protection fournis par des composants de blindage individuels intégrés au système qui seront examinées, ainsi que des indications concernant les valeurs à mesurer dans le cadre de ces essais.

Fonctions de transfert de champ

On obtient une mesure commune du blindage en étudiant l'intensité du champ EM intérieur par rapport à l'intensité du champ EM extérieur d'*excitation* (c'est-à-dire le champ hors bâtiment). Les environnements EM intérieurs et extérieurs pouvant être définis en termes de champ E ou de champ H et ces champs étant des grandeurs *vectérielles*, un grand nombre de combinaisons de champ est possible. De plus, ces champs, par leur nature, sont variables dans le temps en raison de la nature transitoire de la menace IEMN-HA.

As an example, a hypothetical case of a building containing a highly shielded screen room is considered. Inside the screen room, it is assumed that there are several equipment enclosures, linked together by shielded cables and connectors. The first shielding surface in this system is the building enclosure. Depending on the type of building, this may or may not provide significant shielding for the interior volume. Large apertures in the form of doors and windows, as well as conducting penetrations for electrical power and communications lines, may be present. Tests of these individual penetration mechanisms shall be required to evaluate the shielding provided by this enclosure.

Inside the building, the HEMP field is attenuated somewhat by the building walls or enclosure. Thus, the electrical disturbance experienced by the internal screen room is lower than that of the ambient external HEMP field. Because the internal shielded room is specifically designed to reduce the EM fields inside, it is expected that it will function properly – if the various protection devices applied to the shield penetrations are operational. Field penetration through cracks and joints in the walls, diffusion through the shield material and conductive penetrations along signal wires are the main pathways for energy to leak into the shielded room.

Inside the screen room, the conducting exteriors of the equipment housing and the shielded cables form the third barrier in this hypothetical system. As before, the EM energy is able to penetrate into these internal boxes by conductive penetrations, aperture penetrations and by diffusion. Moreover, energy penetration through braided cables and cable connectors may occur on the lines linking the various internal equipment enclosures.

Annex A describes test concepts for both conductive and radiated disturbances. In this clause, various methods are described for testing protective measures against the radiated HEMP environment only. These tests involve the direct generation of EM fields acting on equipment enclosures or shields, or the injection of current and charge onto shields to simulate the radiated field interaction to the structures. In the remainder of this clause, a brief introduction into the various HEMP test concepts and techniques for radiated field disturbances are reviewed. The specific test procedures are presented in clause 5.

4.1 Testing of shielding enclosures

There are several different ways of characterizing the behaviour of protective enclosures. Below, various test concepts are examined that serve to describe the shielding behaviour of the individual shielding elements in question. The issue of how the protective element functions in the overall interaction sequence, leading up to the final system response to HEMP, is not dealt with here. Neither are the aspects of a detailed system assessment, so-called "smoke" (e.g., burnout), go-no-go testing, or system upset issues, which rely on observing overall system-level effects. Annex A should be consulted for more information regarding these types of HEMP tests. Instead, test methods for verifying the protection levels provided by individual shielding components within the system will be examined and indication given as to what should be measured in the tests.

Field transfer functions

A common measure of shielding is obtained by examining the strength of the internal EM field relative to the intensity of the external excitation EM field (i.e. the field with the building removed). Because the external and internal EM environments can be defined in terms of either the *E*-field or the *H*-field, and because these fields are vector quantities, a large number of field combinations is possible. Moreover, these fields are time-varying in nature, due to the transient nature of the HEMP threat.

En ce qui concerne les champs intérieurs et extérieurs à décomposer en spectres fréquentiels, une mesure de l'atténuation fournie par le bâtiment est possible grâce à la fonction de transfert de champ $T(\omega)$, représentée par le rapport de grandeurs de champ sélectionnées de façon adéquate comme suit:

$$T(\omega) = \frac{A_{in}(\omega)}{A_{out}(\omega)} \quad (1)$$

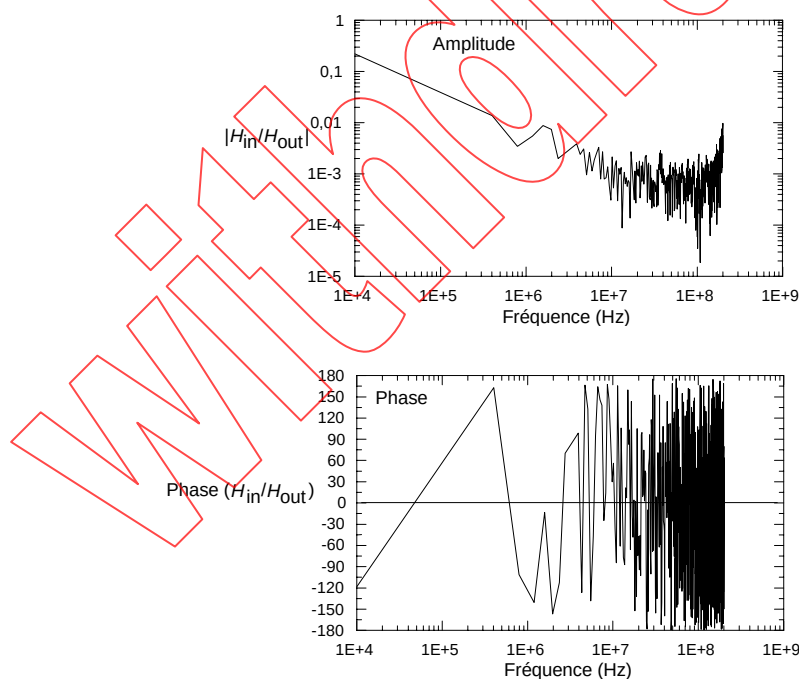
où

A_{out} représente la composante spectrale d'une composante vectorielle particulière de l'un ou l'autre des champs d'excitation E et H à l'extérieur de l'installation;

A_{in} représente une composante de E ou H à l'intérieur du bâtiment.

En fonction du choix des champs intérieurs et extérieurs, ce rapport peut être sans dimension ou présenter des dimensions d'impédance (en ohms) ou d'admittance (en siemens).

La fonction de transfert de champ dans l'équation (1) est une grandeur complexe, présentant à la fois une amplitude et une phase. La figure 1 présente un exemple de fonction de transfert entre le champ magnétique d'excitation externe et le champ magnétique interne, mesurée pour une enceinte blindée. Si l'on doit déterminer une représentation précise des champs transitoires intérieurs à partir des mesures de $T(\omega)$, les deux grandeurs doivent être mesurées. Si l'on souhaite uniquement une indication relative de l'atténuation en fonction de la fréquence pour le bâtiment, il suffit de mesurer l'amplitude $|T(\omega)|$.



IEC 1701/2000

Figure 1 – Exemple de fonction de transfert $T(\omega) = H_{in}/H_{out}$ mesurée (amplitude et phase) pour une enceinte blindée

Considering the internal and external fields to be decomposed into their frequency-domain spectra, a measure of the attenuation provided by the building is provided by the field transfer function $T(\omega)$ which is the ratio of suitably chosen field quantities as

$$T(\omega) = \frac{A_{in}(\omega)}{A_{out}(\omega)} \quad (1)$$

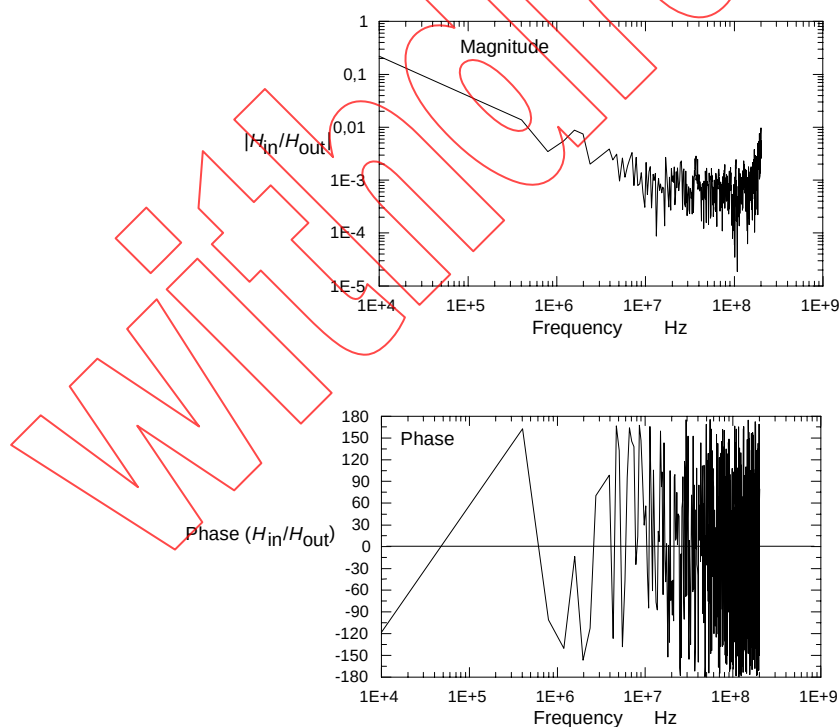
where

A_{out} represents the spectral component of a particular vector component of either the E or H excitation field outside the facility; and

A_{in} represents a component of either E or H inside the building.

Depending on the choice of the internal and external fields, this ratio can be dimensionless or have dimensions of an impedance (in ohms) or an admittance (in siemens).

The field transfer function in equation (1) is a complex valued function, having both a magnitude and phase. An illustration of a measured transfer function between the external excitation and the internal H -fields for a sample shielding enclosure is illustrated in figure 1. If an accurate representation of the internal transient fields is to be determined from measurements of $T(\omega)$, both quantities shall be measured. If only a relative indication of the attenuation as a function of the frequency is desired for the building, then it is sufficient to measure only the magnitude $|T(\omega)|$.



IEC 1701/2000

Figure 1 – Example of measured magnitude and phase of the transfer function $T(\omega) = H_{in}/H_{out}$ for a shielded enclosure

Efficacité de blindage

L'efficacité de blindage d'une installation est étroitement liée à la fonction de transfert de blindage évoquée ci-dessus, dans la mesure où elle établit une comparaison entre les amplitudes relatives de deux composantes de champ similaires dans le domaine fréquentiel. Cependant, cette grandeur contient moins d'informations car les informations de phase font défaut. L'efficacité de blindage de l'enceinte est définie par la formule suivante:

$$SE_A = 20 \log_{10} \left(\frac{|A_{out}|}{|A_{in}|} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{|T_A(\omega)|} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

où A_{out} et A_{in} représentent des grandeurs de champ E ou H extérieur et intérieur adaptées. Ainsi, cette valeur dépend étroitement du tracé d'amplitude de la fonction de transfert relative aux champs.

En raison des différences fondamentales au niveau des mécanismes de blindage électriques et magnétiques à basse fréquence, l'efficacité de blindage vis-à-vis des champs électriques, signalée par SE_E , et l'efficacité de blindage vis-à-vis des champs magnétiques, SE_H , sont largement différentes à basse fréquence. La figure 2 illustre le blindage théorique fourni par un corps en aluminium fermé d'épaisseur égale à 0,5 mm. Cette figure illustre le fait qu'à fréquence élevée (supérieure à environ 1 MHz), les paramètres d'efficacité de blindage sont approximativement identiques pour les deux champs. Généralement, SE_H est inférieure à SE_E à basse fréquence (en dessous de 100 kHz), car le champ magnétique à basse fréquence peut se diffuser au travers des parois de l'enceinte de protection plus facilement que le champ électrique. C'est pour cette raison que, souvent, on utilise uniquement l'efficacité de blindage d'une enceinte au champ magnétique pour caractériser une enceinte.

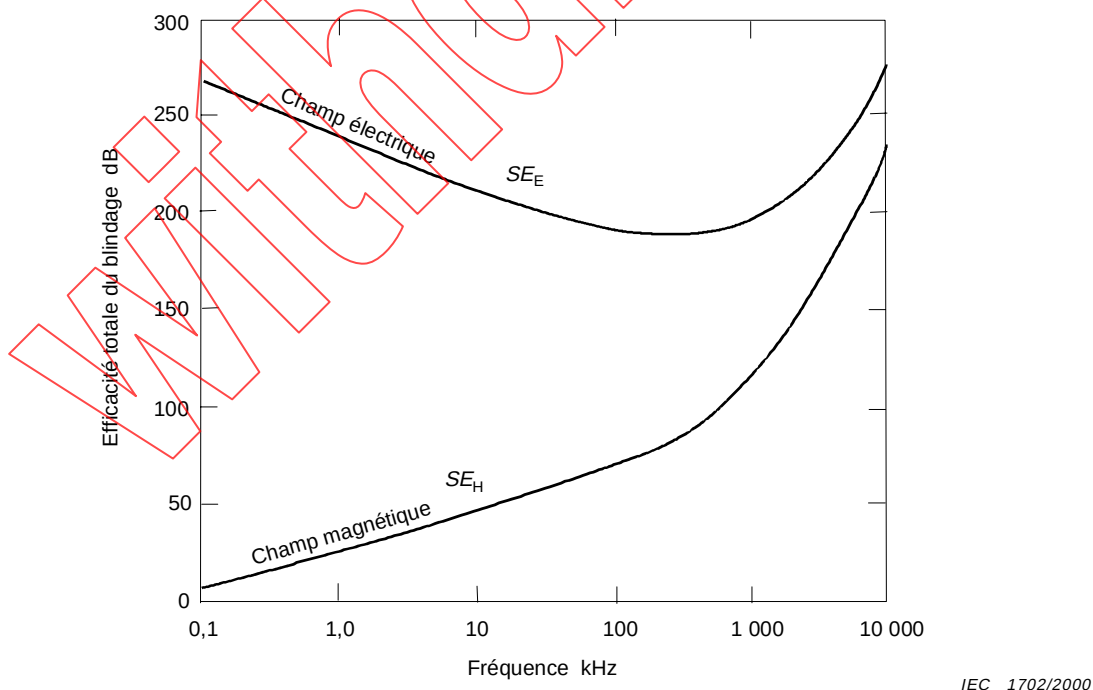


Figure 2 – Efficacité de blindage pour champ électrique et champ magnétique dans une enceinte en aluminium de 0,5 mm d'épaisseur [28] ¹⁾

¹⁾ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Shielding effectiveness

The shielding effectiveness of a facility is closely related to the shield transfer function discussed above in that it compares the relative magnitudes of two similar field components in the frequency domain. However, this quantity contains less information because the phase information is lacking. Shielding effectiveness of the enclosure is defined as follows:

$$SE_A = 20 \log_{10} \left(\frac{|A_{out}|}{|A_{in}|} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{|T_A(\omega)|} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

where A_{out} and A_{in} represent suitable external and internal E or H field quantities. Thus, it is closely related to the magnitude plot of the transfer function for the fields.

Because of the fundamental differences in electric and magnetic shielding mechanisms at low frequencies, the shielding effectiveness for electric fields, denoted by SE_E , and for magnetic fields, SE_H , are significantly different at low frequencies. Figure 2 illustrates the theoretical shielding provided by a closed aluminium shell of a thickness of 0,5 mm. This figure illustrates the fact that for frequencies about 1 MHz, the shielding effectiveness parameters for both fields are about the same. Generally, SE_H is less than SE_E at low frequencies (below 100 kHz), due to the fact that the low-frequency magnetic field is able to diffuse through the protective enclosure walls more easily than does the electric field. It is for this reason that often just the magnetic field shielding effectiveness of an enclosure is used to characterize an enclosure.

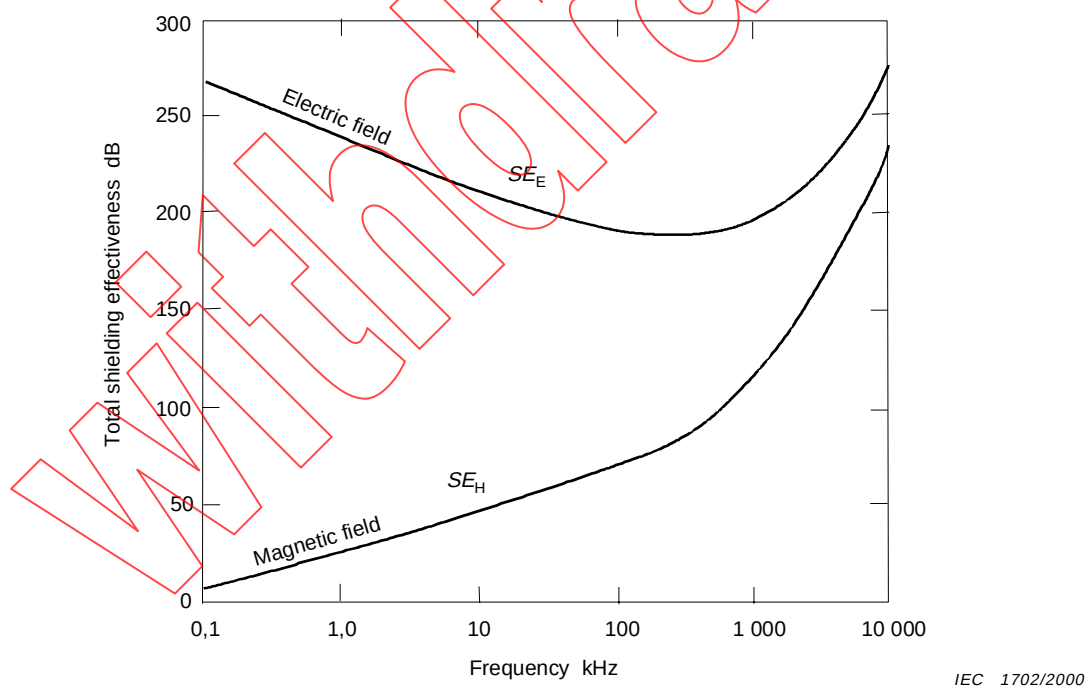


Figure 2 – The electric field and magnetic field shielding effectiveness of a 0,5 mm thick aluminium enclosure [28] ¹⁾

¹⁾ Figures in square brackets refer to the bibliography.

La figure 3 fournit un autre exemple de l'efficacité de blindage de champ magnétique mesurée pour une enceinte réelle et illustre le comportement de SE_H par des mesures réalisées pour un bâtiment identique à celui de la figure 1. Il convient de noter que le blindage présente plusieurs valeurs maximales et valeurs nulles, correspondant aux résonances internes et externes de l'enceinte, ainsi que des pénétrations dépendant de la fréquence venant s'ajouter à la simple pénétration diffusive des champs au travers du matériau de blindage.

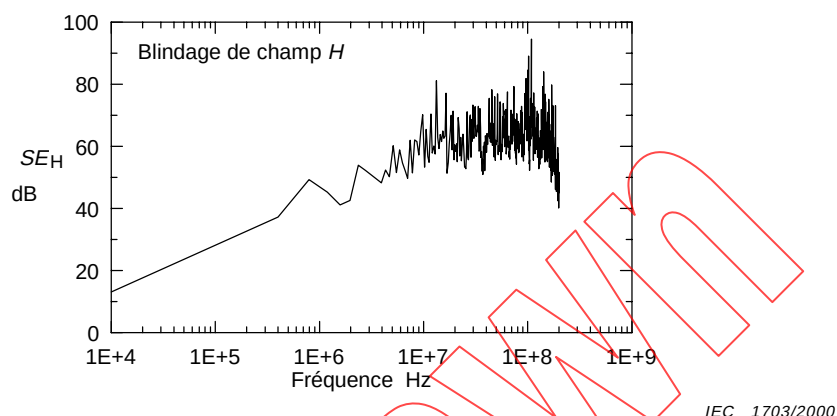


Figure 3 – Efficacité de blindage de champ magnétique mesurée SE_H pour un bâtiment

4.1.1 Bâtiments

Pour un bâtiment tel que celui illustré à la figure 4, la réponse interne induite par l'IEMN-HA provient principalement des pénétrations conductrices et d'ouverture. Ainsi, il convient d'exciter correctement ces éléments de pénétration dans le cadre des essais de blindage de l'enceinte. La pénétration du champ par diffusion au travers du blindage global (par exemple les parois de l'enceinte) est généralement faible.

Le concept d'essai IEMN-HA relatif aux bâtiments physiquement plus grands implique la simulation de champs à l'extérieur de l'objet d'essai (voir la présentation des divers emplacements d'interface d'essai à la figure A.1.) Pour cette excitation, il est nécessaire de mesurer une réponse interne adaptée produite par ce champ extérieur.

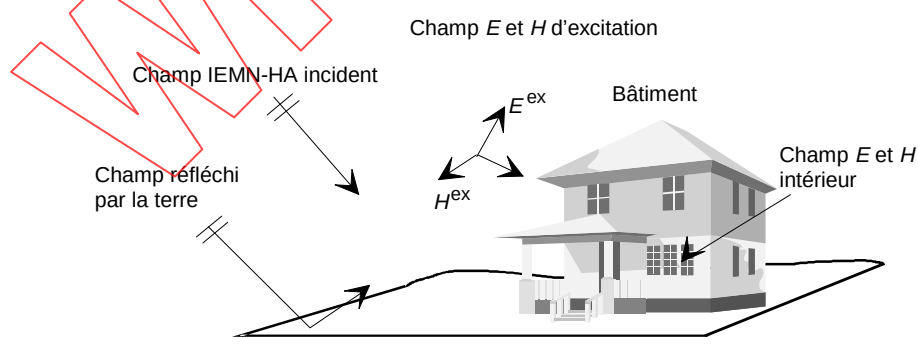


Figure 4 – Illustration conceptuelle de l'essai IEMN-HA d'un bâtiment

A l'extérieur du bâtiment, le champ d'excitation IEMN-HA simulé est exprimé par les paramètres suivants (voir CEI 61000-2-9):

- caractéristiques de forme d'onde du champ incident (plus champ réfléchi par le sol, le cas échéant) (telles que l'amplitude, le temps de montée et le temps de descente);
- polarisation du champ d'excitation;
- proportion du système extérieur illuminée par le champ simulé.

As a further example of the measured magnetic field shielding effectiveness of a real enclosure, figure 3 illustrates the behaviour of SE_H as measured for the same building discussed in figure 1. It should be noted that the shielding has several peaks and nulls, corresponding to internal and external resonances of the enclosure, as well as frequency-dependent penetrations that occur in addition to the simple diffusive penetration of fields through the shield material.

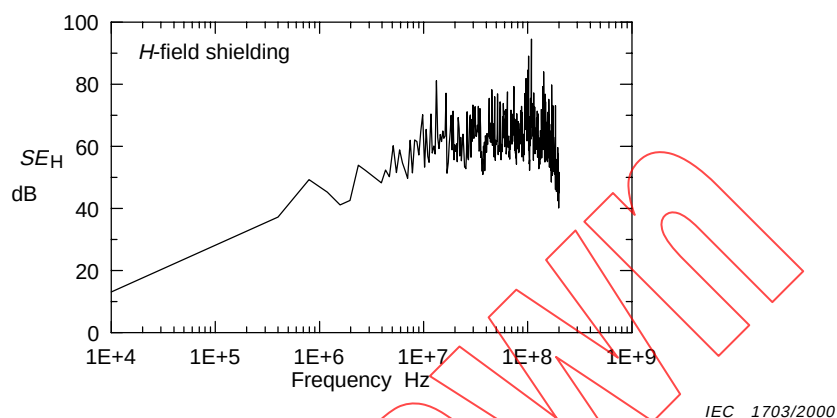


Figure 3 – Measured magnetic field shielding effectiveness SE_H for a building

4.1.1 Buildings

For a building such as that illustrated in figure 4, the internal HEMP-induced response arises mainly from conductive and aperture-type penetrations. Thus, any test of the enclosure shielding should strive to adequately excite these penetrations. The field penetration by diffusion through the global shield (i.e. the walls of the enclosure) is generally small.

The HEMP test concept for physically large buildings requires the simulation of fields on the exterior of the test object (see the discussion of the various test interface locations in figure A.1). For this excitation, the measurement of a suitable internal response induced by this external field is needed.

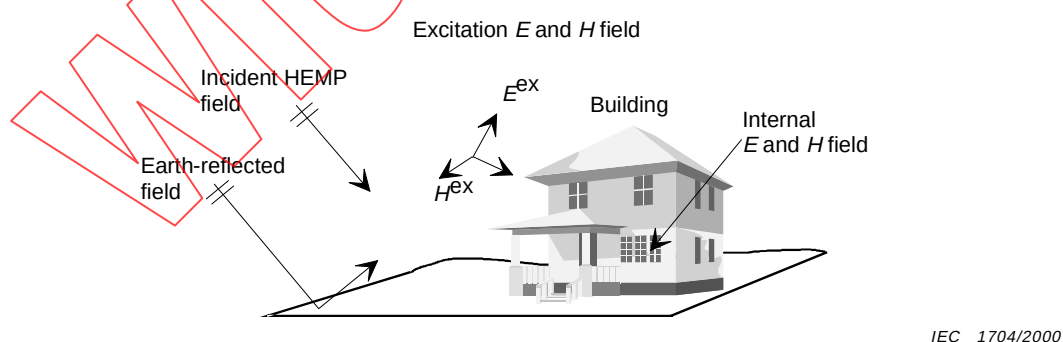


Figure 4 – Conceptual illustration of the HEMP test of a building

On the exterior of the building, the simulated HEMP excitation field is expressed by the following parameters (see IEC 61000-2-9):

- the incident field (plus ground-reflected field, if any) waveform characteristics (such as its amplitude, rise time, and fall time);
- the excitation field polarization;
- the amount of the system exterior illuminated by the simulated field.

Des informations concernant la méthode de production ou d'approximation de ce champ extérieur sont présentées en 5.1.

On peut sélectionner différents types de réponses internes pour décrire le blindage de l'enceinte de l'installation. Parmi eux, on distingue les champs internes E ou H , ou la tension et le courant induits sur les conducteurs internes. Par conséquent, différentes mesures de blindage peuvent exister pour un système particulier. De plus, l'emplacement du point d'observation intérieur peut varier, donnant lieu à d'importantes variations des indices de mérite du blindage.

4.1.2 Abris et salles

Dans le cas d'un abri ou d'une salle blindée, on suppose que l'environnement IEMN-HA simulé est toujours appliqué à l'extérieur de l'enceinte, là où les champs IEMN-HA incidents sont censés fournir la plus grande excitation à la structure. Par conséquent, les concepts d'essai pour ces enceintes sont similaires aux concepts relatifs aux bâtiments plus grands. Ces enceintes plus petites peuvent aussi être caractérisées par:

- une fonction de transfert de champ à valeur complexe, ou
- une efficacité de blindage.

Il convient cependant de garder à l'esprit que des signaux transitoires seront également conduits dans cette installation sur les lignes d'alimentation et qu'il faut les traiter séparément, conformément à la CEI 61000-5-3.

La principale différence entre les bâtiments et les abris ou les salles blindées est que les niveaux de protection IEMN-HA fournis par les enceintes plus petites sont largement supérieurs, car elles sont spécifiquement conçues pour fournir un degré de blindage élevé. Par conséquent, les niveaux de signaux internes sont généralement inférieurs aux niveaux existant dans les bâtiments. Les mesures sont donc plus sensibles au bruit. De plus, du fait de la taille réduite, les effets de la résonance de cavité interne se feront sentir à des fréquences plus élevées. Par conséquent, les concepts de blindage quasistatiques sont applicables à une gamme plus large de fréquences pour ces enceintes (voir CEI 61000-5-3).

La figure 5 illustre une salle blindée générique possédant plusieurs plaques collectrices de la barrière de blindage identifiée.

NOTE Les pénétrations conductrices d'alimentation et de transmission ne sont pas illustrées, car elles font l'objet d'une description distincte dans la CEI 61000-4-25.

La caractérisation de l'ensemble du blindage de la barrière par une fonction de transfert de champ $T(\omega)$, ou par l'efficacité de blindage SE , fournit une mesure globale des effets de pénétration à partir de tous les mécanismes de pénétration indiqués à la figure 5. C'est-à-dire que les champs intérieurs sont produits par les pénétrations de toutes les plaques collectrices réunies, ainsi que la diffusion au travers du matériau dans les parois du blindage. On dispose d'autres techniques de mesure pour caractériser la protection fournie par les pénétrations individuelles (telles que joints, conduit de ventilation, conduit blindé, etc.); elles sont étudiées en 4.3.

Details of how this external field may be produced or approximated are presented in 5.1.

Different types of internal responses can be chosen to describe the shielding of the facility enclosure. These include the internal E or H fields or the induced voltage and current on internal conductors. Consequently, different measures for the shielding can be generated for any particular system. Moreover, the location of the internal observation point can vary, again giving rise to wide variations of shielding figures of merit.

4.1.2 Shelters and rooms

For a shelter or a shielded room, we assume that the simulated HEMP environment is still being applied to the exterior of the enclosure where the incident HEMP fields are assumed to provide the main excitation to the structure. Consequently, the test concepts for these enclosures are similar to those for large buildings. These smaller enclosures can again be characterized by either

- a complex-valued field transfer function, or
- a shielding effectiveness.

It should be kept in mind, however, that there will also be transient signals conducted into this facility on power lines, and these must be addressed separately, as discussed in IEC 61000-5-3.

The main difference between large buildings and shelters or shielded rooms is that the HEMP protection levels provided by these smaller enclosures will be significantly higher, since they are specifically designed to provide a high degree of shielding. Consequently, the internal signal levels are usually smaller than in the case of buildings. This makes the measurements more susceptible to noise. In addition, due to the smaller size, the effects of internal cavity resonances will occur at higher frequencies. As a result, quasi-static shielding concepts are applicable over a wider range of frequencies for these enclosures (see IEC 61000-5-3).

Figure 5 illustrates a generic shielded room with several PoEs of the shielding barrier identified.

NOTE Power and signal conducting penetrations are not illustrated, as they are considered separately in IEC 61000-4-25.

Characterizing the overall barrier shielding by a field transfer function $T(\omega)$, or by shielding effectiveness SE , provides a global measure of the penetration effects from all of the penetration mechanisms indicated in figure 5. That is to say, the internal fields arise from the penetrations from all of the PoEs taken together, along with the diffusion through the material in the walls of the shield. Alternate measurement techniques are available for characterizing the protection provided by the individual penetrations (such as the gasket, air vent, shielded conduit, etc.) and these are discussed in 4.3.

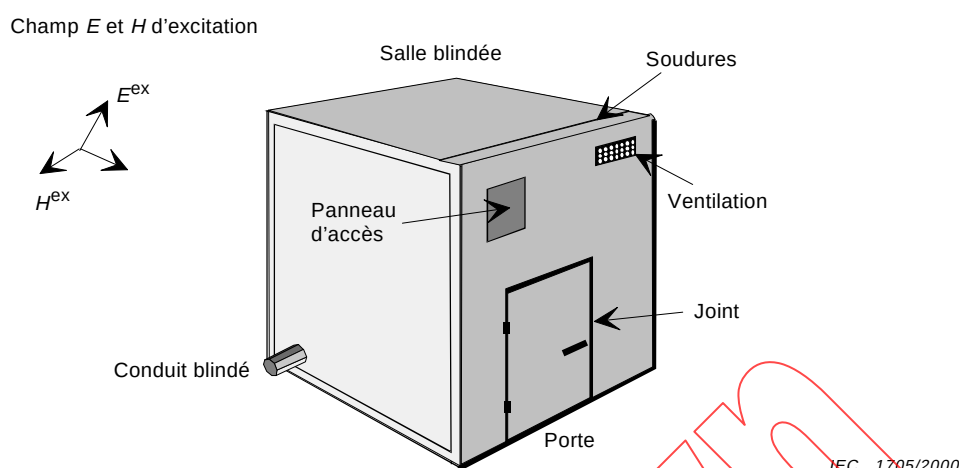


Figure 5 – Illustration d'une salle ou d'une enceinte blindée, excitée par des champs IEMN-HA

4.1.3 Coffrets, casiers et boîtiers

Ces enceintes sont généralement situées dans une barrière EM existante, qui modifie de façon importante l'environnement de champ magnétique excitant le système. Un boîtier interne ou un coffret est excité par une combinaison du champ EM interne et de courants injectés sur des blindages de câble issus d'autres matériels, également excités par les champs locaux. Une illustration est fournie à la figure 6.

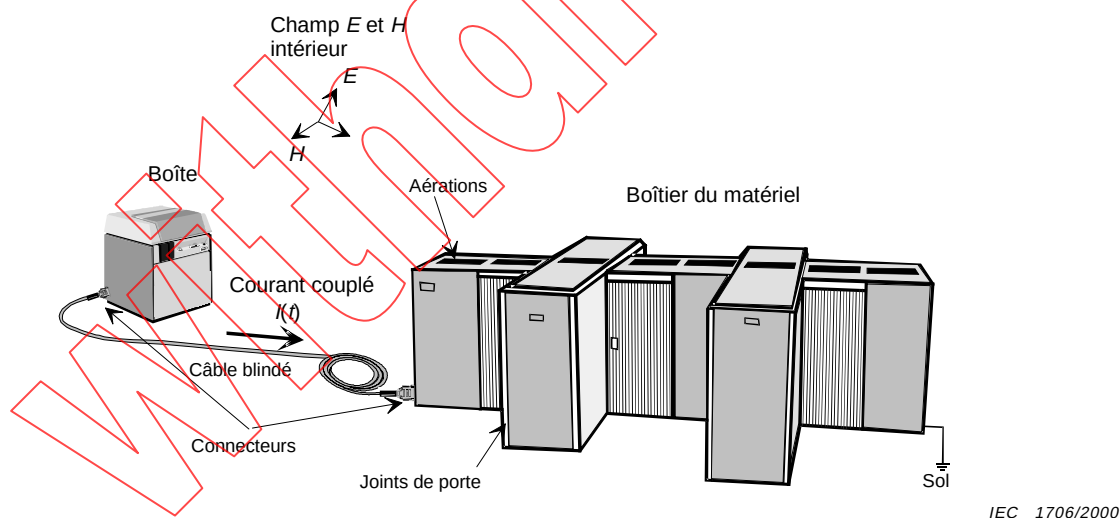


Figure 6 – Illustration de casiers, coffrets et boîtiers excités par une contrainte IEMN-HA interne

Essai d'illumination de champ

Pour les essais réalisés sur les enceintes impliquant les champs EM à l'intérieur d'une enceinte plus grande, le concept précédent d'illumination de champ peut être adopté pour mesurer le blindage global fourni par le matériel. Comme auparavant, ce blindage peut être caractérisé par:

- une valeur de transfert de champ à valeur complexe, ou
- une efficacité de blindage de l'enceinte.

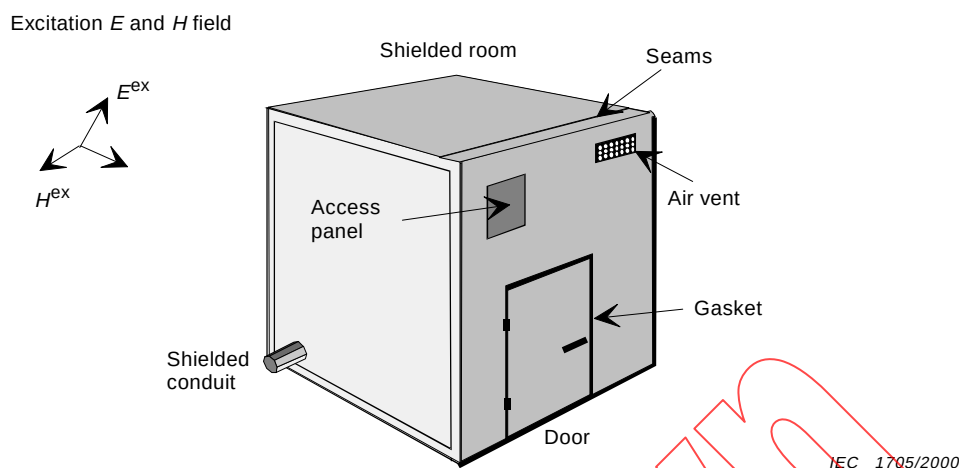


Figure 5 – Illustration of a shielded room or enclosure excited by HEMP fields

4.1.3 Cabinets, racks and boxes

These enclosures are typically located within an existing EM barrier, which significantly modifies the electromagnetic field environment exciting the system. An internal box or an equipment cabinet is excited by a combination of the internal EM field plus injected currents on cable shields coming from other equipment that have also been excited by the local fields. This is illustrated in figure 6.

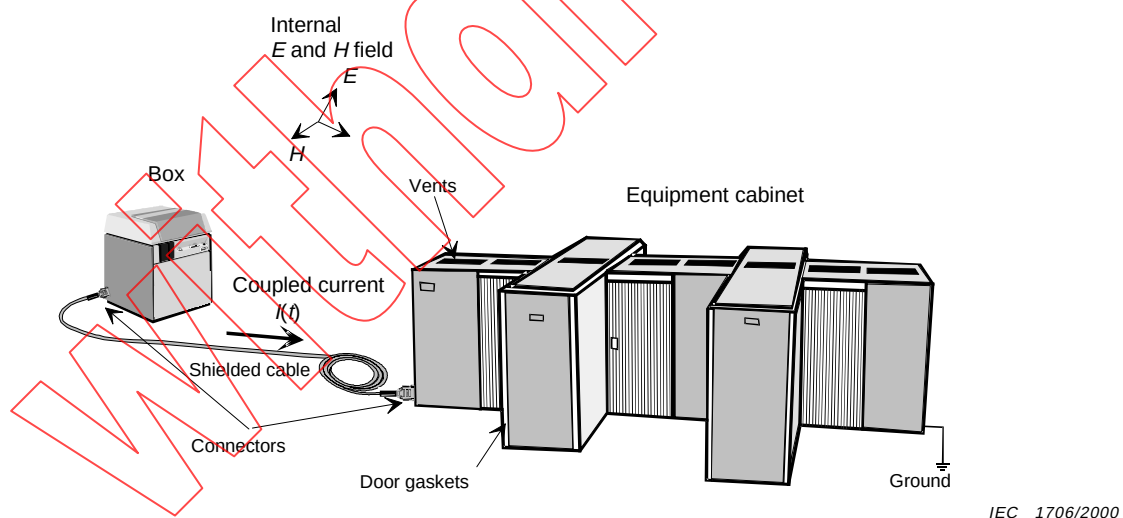


Figure 6 – Illustration of equipment racks, cabinets and box excited by internal HEMP disturbance

Field illumination test

For tests of these enclosures involving the EM fields inside a larger enclosure, the previous concept of field illumination can be adopted to measure the global shielding provided by the equipment. As before, this shielding may be characterized by

- a complex-valued field transfer function, or
- a shielding effectiveness of the enclosure.

En raison de la taille plus réduite de ces enceintes, des difficultés de mesure provenant de l'emballage intérieur compact des composants électroniques internes peuvent cependant se poser. Ainsi, il est souvent difficile de localiser des capteurs de champ EM adaptés à l'intérieur du coffret. En outre, les essais étant réalisés à la surface du boîtier ou de l'enceinte, il existe d'importantes incertitudes au niveau de la caractérisation de l'environnement du champ IEMN-HA. Finalement, l'interconnexion entre les différents éléments du matériel peut être relativement complexe et, si l'on pratique des essais sur un boîtier ou un casier simple, sa réponse mesurée peut différer considérablement de celle enregistrée lorsqu'il est raccordé au reste du système. L'article 5 fournit des précisions sur les essais de champ pratiqués sur ces enceintes.

Impédance de transfert de blindage

Il est possible également, pour remplacer les essais de champ pratiqués sur les boîtiers et les petites enceintes, d'appliquer le concept d'impédance de transfert de l'enceinte; voir l'annexe E. Il est similaire au traitement d'un câble blindé étudié en 4.2 et implique de pratiquer des essais sur une interface au niveau du boîtier dans le système. Dans ce cas, un courant $I(t)$ est injecté à la surface du boîtier ou du casier et une tension en circuit ouvert $V_{oc}(t)$ est mesurée sur un câble de détection interne adapté. Dans ce type d'essai, il est important de s'assurer que le courant injecté circule à l'extérieur du boîtier de la même manière que lorsque le boîtier est raccordé au reste du système. Cela implique que le point de sortie du courant (raccordement à la masse) doit être maintenu, de façon à pouvoir supprimer le courant injecté correctement.

La figure 7 illustre une enceinte blindée générale excitée par une injection de courant extérieure. A l'intérieur du corps, aux points a et b , un câble de détection est raccordé au blindage, et la tension en circuit ouvert V_{oc} est mesurée. L'impédance de transfert de cette enceinte est une grandeur de valeur complexe, définie en termes de composantes spectrales fréquentielles $I(\omega)$ et $V_{oc}(\omega)$, selon la formule:

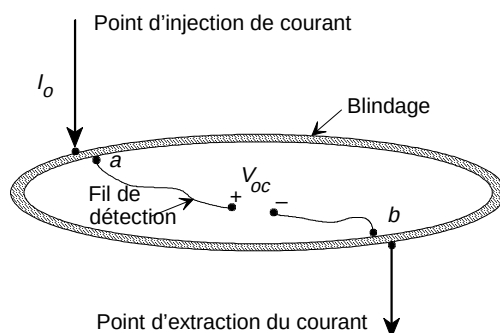
$$Z_t(\omega) = \frac{V_{oc}(\omega)}{I(\omega)} \quad (3)$$

où

$I(\omega)$ est le courant injecté, et

$V_{oc}(\omega)$ est la tension en circuit ouvert mesurée sur le conducteur de mesure.

Cette valeur d'impédance de transfert de blindage varie, en fonction de l'emplacement des bornes à l'intérieur de l'enceinte, pour la détermination de la tension en circuit ouvert. Pour déterminer correctement le blindage fourni par l'enceinte dans son ensemble, il convient de situer les points de mesure de tension à l'intérieur de l'enceinte, à proximité des points d'injection de courant.



IEC 1707/2000

Figure 7 – Blindage général excité par une injection de courant

Due to the smaller size of these enclosures, however, difficulties in this measurement can arise from the dense internal packing of internal electronic components. Often this makes it difficult to locate suitable EM field sensors inside the box. Furthermore, because the testing is conducted on the box or enclosure surface, there are large uncertainties in the characterization of the HEMP field environment. Finally, the interconnection between the various equipment items can be rather complex, and if a single box or equipment rack is tested, its measured response may be considerably different from that found when it is connected to the rest of the system. Details of the field testing of these enclosures is provided in clause 5.

Shield transfer impedance

An alternative to the field testing of boxes and small enclosures is to use the concept of a transfer impedance of the enclosure, see annex E. This is similar to the treatment of a shielded cable discussed in 4.2, and involves testing at a box level interface in the system. In this case, a current $I(t)$ is injected onto the surface of the box or rack, and an open-circuit voltage $V_{oc}(t)$ on a suitable internal sense wire is measured. In this form of testing, it is important to ensure that the injected current flows over the exterior of the box in the same way as when the box is connected to the rest of the system. This implies that the current exit point (the ground connection) has to be maintained so that the injected current can be removed properly.

Figure 7 illustrates a general shielded enclosure excited by an external current injection. Just inside the shell at points a and b , a sense wire is connected to the shield, and the open-circuit voltage V_{oc} is measured. The transfer impedance of this enclosure is a complex valued quantity, defined in terms of the frequency domain spectral components as

$$Z_t(\omega) = \frac{V_{oc}(\omega)}{I(\omega)} \quad (3)$$

where

$I(\omega)$ is the injected current, and

$V_{oc}(\omega)$ is the measured open-circuit voltage on the sense wire.

This shield transfer impedance value varies, depending on the location of terminals inside the enclosure for determining the open-circuit voltage. For adequate sensing of the shielding provided by the entire enclosure, the voltage sense points should be located within the enclosure, near the current injection locations.

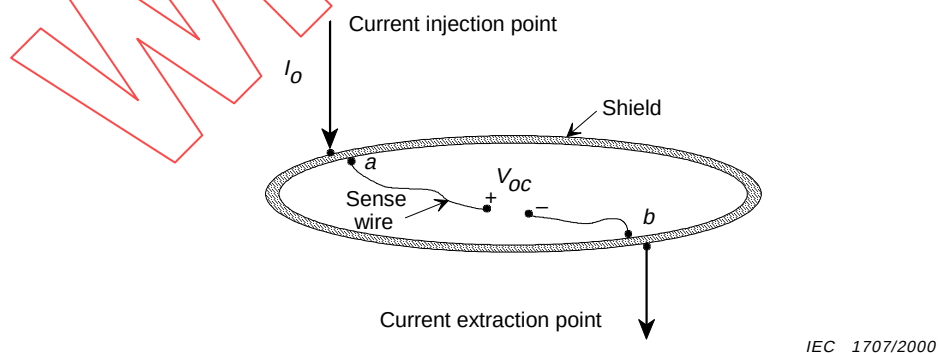


Figure 7 – A general shield excited by current injection

IEC 1707/2000

L'impédance de transfert du blindage est fonction des propriétés électriques du matériau de blindage (conductivité σ et perméabilité μ), ainsi que des dimensions du blindage et de la nature des éventuelles imperfections de l'enceinte telles que des bavures de joint, ouvertures, etc. Dans le cas particulier d'un blindage sphérique mince de rayon a et d'épaisseur Δ ne présentant aucune pénétration d'ouverture, il est possible de calculer l'efficacité de blindage de champ H SE_H en fonction de l'impédance de transfert de blindage Z_t et de la résistance en c.c. du blindage par unité, R' , grâce à la relation:

$$SE_H = 20 \log_{10} \left| \frac{\left(\frac{a}{\Delta} (\gamma \Delta)^2 \right)}{3 \frac{Z_t}{R'}} \right| \quad (4)$$

où

a est le rayon d'un blindage mince sphérique (en m);

Δ est l'épaisseur du blindage (en m);

γ est la constante de propagation dans le matériau de blindage, donnée par $\gamma \approx \sqrt{j\omega\mu\sigma}$;

σ est la conductivité électrique du matériau du blindage (en S/m);

μ est la perméabilité magnétique du matériau du blindage (en F/m);

Z_t est l'impédance de transfert du blindage (en Ω/m);

R' est la résistance en c.c. par unité de longueur du blindage (en Ω/m).

4.2 Essais de câbles et connecteurs blindés

Des câbles blindés sont fréquemment utilisés pour transmettre des informations entre des matériels situés dans deux enceintes de protection. On peut ainsi définir deux lignes de transmission distinctes: une ligne externe par laquelle les courants et charges circulent à l'extérieur du câble, en même temps qu'un éventuel retour au plan de masse, et une ligne interne incluant les conducteurs à l'intérieur du blindage. Les champs IEMN-HA peuvent exciter la ligne de transmission externe et, si le blindage du câble est imparfait, certains courants et charges extérieurs peuvent pénétrer au travers du blindage et exciter la ligne interne, ce qui provoque une réponse parasite au niveau du matériel «protégé». Les concepts d'essai relatifs à ce mécanisme de couplage sont examinés dans le présent paragraphe.

L'annexe B résume les principaux aspects de caractérisation d'un blindage de câble. Celle-ci implique deux paramètres: l'impédance de transfert de blindage et l'admittance de transfert. Pour la plupart des blindages de câble pratiques, l'impédance de transfert est une fonction à valeur complexe, dépendante de la fréquence, décrite de façon réelle et fictive, ou par une fonction d'amplitude et de phase. L'admittance de transfert, cependant, est avant tout réactive et est effectivement déterminée par une capacité indépendante de la fréquence.

Tandis que l'impédance de transfert est uniquement fonction des propriétés de blindage, l'admittance de transfert dépend à la fois du blindage et de la configuration de la ligne de transmission externe. Il est possible, cependant, de présenter un paramètre d'admittance de transfert mesuré sous une autre forme: le paramètre de fuite du blindage, *indépendant* du circuit externe. L'article 4 traite des méthodes d'essai relatives aux grandeurs d'impédance et d'admittance de transfert, tout en gardant à l'esprit que cette dernière grandeur dépend des particularités du circuit externe, telles que la hauteur de ligne externe, le rayon du fil et la nature du plan de masse local à proximité du câble.

The shield transfer impedance is a function of the electrical properties of the shielding material, as well as the shield dimensions and the nature of any imperfections in the enclosure such as seams, apertures, etc. In the special case of a thin spherical shield in which there are no aperture penetrations, it is possible to calculate the H -field shielding effectiveness SE_H , given the shield transfer impedance and the d.c. resistance of the shield through the relationship:

$$SE_H = 20 \log_{10} \left| \frac{\left(\frac{a}{\Delta} (\gamma \Delta)^2 \right)}{3 \frac{Z_t}{R'}} \right| \quad (4)$$

where

a is the radius of a thin spherical shield (in m);

Δ is the thickness of the shield (in m);

γ is the propagation constant in the shielding material, given by $\gamma \approx \sqrt{j\omega\mu\sigma}$,

σ is the electrical conductivity of the shield material (in S/m);

μ is the magnetic permeability of the shield material (in F/m);

Z_t is the shield transfer impedance (in Ω/m);

R' is the per unit length d.c. resistance of the shield (in Ω/m).

4.2 Testing of shielded cables and connectors

Shielded cables are frequently used to transmit information between equipment contained within two protective enclosures. As such, one can define two distinct transmission lines: an external line having currents and charges flowing on the exterior of the cable, together with a possible ground-plane return, and an internal line consisting of the conductors inside the shield. HEMP fields can excite the external transmission line, and if the cable shield is imperfect, some of the external currents and charges can penetrate through the shield and excite the internal line. This leads to an unwanted response in the "protected" equipment. In this subclause, test concepts for this coupling mechanism are examined.

Annex B summarizes important aspects of the characterization of a cable shield. This involves two parameters: the shield transfer impedance and the transfer admittance. For most practical cable shields, the transfer impedance is a complex valued, frequency-dependent function, described by real and imaginary parts, or equivalently, by a magnitude and phase function. The transfer admittance, however, is primarily reactive, and is effectively modelled by a frequency-independent capacitance.

While the transfer impedance is a function only of the shield properties, the transfer admittance depends on both the shield and the configuration of the external transmission line. It is possible, however, to present the measured transfer admittance parameter in another form: that of the shielding leakage parameter, which is independent of the external circuit. Clause 4 considers test methods for the transfer impedance and admittance quantities, keeping in mind that the latter quantity depends on the details of the external circuit, such as the external line height, wire radius, and nature of the local ground plane near the cable.

4.2.1 Essais de blindage de câble

Détermination de l'impédance de transfert

Bien qu'il existe de nombreuses configurations d'essai différentes pour la mesure de l'impédance de transfert d'un blindage de câble, celles-ci sont toutes reliées à la configuration de base illustrée à la figure 8. Une source de tension externe V_s alimente ici l'extrémité $x = 0$ d'un blindage de câble de longueur L raccordé à la masse (c'est-à-dire le conducteur de référence) par un court-circuit à l'extrémité opposée du câble. La résistance Z_s à la source limite la circulation de courant à l'extérieur du câble.

Le conducteur interne (coaxial) du câble blindé est mis en court-circuit avec le blindage au niveau de l'extrémité $x = L$ de la ligne, et la tension en circuit ouvert, V_i , est mesurée à l'extrémité $x = 0$. En partant de l'hypothèse:

- que les lignes de transmission internes et externes sont électriquement courtes ($L \ll \lambda$), et
- qu'il existe une excitation de champ négligeable au niveau du câble interne en raison des champs pénétrant par les extrémités de la ligne,

on peut obtenir une approximation de l'impédance de transfert dépendante de la fréquence du blindage de câble en appliquant l'équation (B.5a) comme suit:

$$Z'_t(\omega) = R'_t(\omega) + j X'_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e L} \approx \frac{Z_s}{L} \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega/\text{m} \quad (5)$$

où

Z'_t est l'impédance de transfert du câble (en Ω/m);

ω est la pulsation (en $2\pi \times \text{Hz}$);

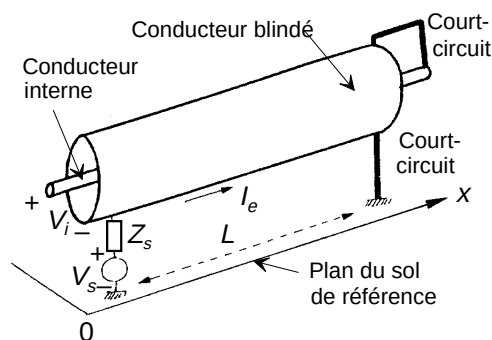
V_i est la tension interne en circuit ouvert entre le conducteur interne et la gaine du câble;

V_s est la tension qui excite le circuit externe du blindage du câble (en V);

L est la longueur du blindage du câble (en m);

Z_s est l'impédance de la source de tension externe (en Ω).

Pour appliquer ces formules, il est très important de s'assurer que la ligne est électriquement courte. A mesure que la fréquence augmente, la répartition du courant sur le câble extérieur commence à présenter des valeurs nulles et des valeurs crêtes périodiques dues aux réflexions de l'extrémité court-circuitée de la ligne. De plus, on relève la présence de réflexions internes provenant du court-circuit sur le câble intérieur. Ces oscillations sont à l'origine d'erreurs importantes dans la mesure de l'impédance de transfert à haute fréquence.



IEC 1708/2000

Figure 8 – Configuration de base pour la mesure de l'impédance de transfert

4.2.1 Testing of cable shields

Determination of the transfer impedance

Although there are several different test configurations for measuring the transfer impedance of a cable shield, they are all related to the basic configuration shown in figure 8. An external voltage source V_s feeds the $x = 0$ end of a cable shield of length L which is connected to the ground (i.e. the reference conductor) through a short-circuit at the opposite end of the cable. The resistance Z_s at the source limits the current flowing in the cable exterior.

The inner (coaxial) conductor of the shielded cable is shorted to the shield at the $x = L$ end of the line, and the open-circuit voltage, V_i , is measured at the $x = 0$ end. Under the assumptions that

- the internal and external transmission lines are electrically short ($L \ll \lambda$), and
- that there is negligible field excitation of the inner cable due to fields entering through the ends of the line,

the frequency-dependent transfer impedance of this cable shield can be approximated from equation (B.5a) as

$$Z'_t(\omega) = R'_t(\omega) + j X'_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e L} \approx \frac{Z_s}{L} \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega/\text{m} \quad (5)$$

where

Z'_t is the cable transfer impedance (in Ω/m);

ω is the angular frequency (in $2\pi \times \text{Hz}$);

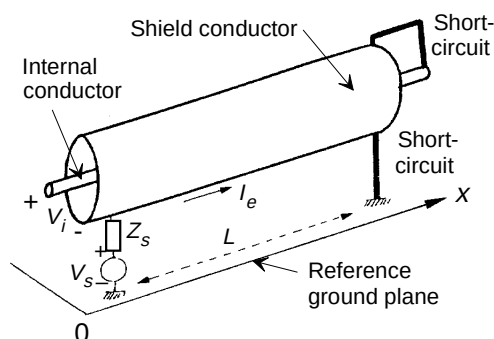
V_i is the internal open-circuit voltage on the internal conductor;

V_s is the excitation voltage of the external circuit of the cable shield (in V);

L is the length of the shield conductor (in m);

Z_s is the effective source impedance of the external voltage source (in Ω).

When using these expressions, it is very important to ensure that the line is electrically short. As the frequency increases, the current distribution on the exterior cable begins to have periodic nulls and peaks due to reflections from the shorted end of the line. Moreover, there are internal reflections from the short on the interior cable. These oscillations are the cause of significant errors in the measurement of transfer impedance at high frequencies.



IEC 1708/2000

Figure 8 – Basic configuration for transfer impedance measurement

La figure 9 illustre un comportement typique dans le domaine fréquentiel de l'impédance de transfert mesurée pour quatre différents câbles tressés présentant un blindage raisonnablement efficace. A basse fréquence, Z'_t est principalement résistive, avec une valeur égale à la résistance en c.c. par unité de longueur du blindage. A fréquence plus élevée, la pénétration de champ par les ouvertures de la tresse du blindage commence à affecter la réponse interne et le comportement du blindage est légèrement dégradé. Parallèlement, cette augmentation de l'impédance de transfert à haute fréquence est une variation de phase électrique – grandeur qu'il est primordial de connaître si l'on doit effectuer des calculs précis à l'aide du Z'_t mesuré.

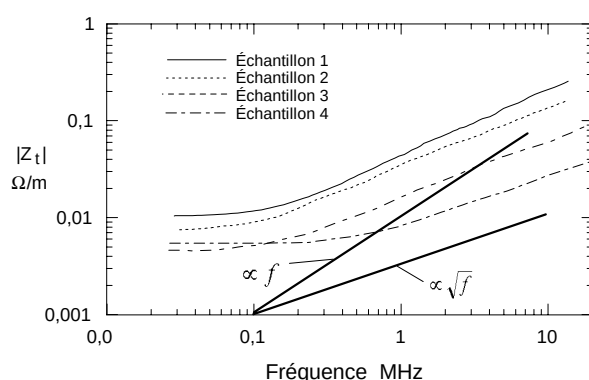


Figure 9a – Amplitude

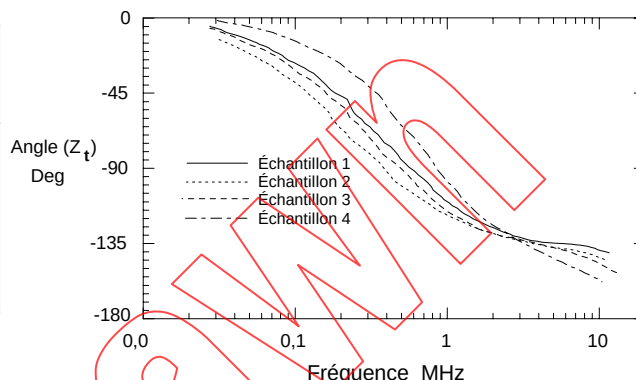


Figure 9b – Phase

NOTE A haute fréquence, les courbes sont proportionnelles à $\sqrt{f}$ plutôt que f , ce qui indique que les réponses ne sont pas bien représentées par une inductance simple.

Figure 9 – Amplitude de l'impédance de transfert mesurée et phase de l'impédance de transfert par unité de longueur pour quatre câbles de blindage tressés présentant des propriétés de blindage satisfaisantes

Détermination de l'admittance de transfert

Pour l'évaluation de l'admittance de transfert du blindage de câble, on utilise la configuration d'essai générale présentée à la figure 10. Elle est similaire à la configuration utilisée pour la mesure de l'impédance de transfert, mais les terminaisons sont différentes au niveau des extrémités de câble. En appliquant l'équation (B.5b), ainsi que des hypothèses identiques à celles utilisées pour l'impédance de transfert, l'admittance de transfert du blindage peut être exprimée par la formule suivante:

$$Y'_t \approx -\frac{1}{L} \frac{I_i}{V_s} \approx -j\omega C'_i C'_e S \quad \text{S/m} \quad (6)$$

où

Y'_t est l'admittance de transfert du câble (en S/m);

I_i est le courant dans le conducteur interne (en A);

V_s est la tension qui excite le circuit externe du blindage du câble (en V);

L est la longueur du câble (en m);

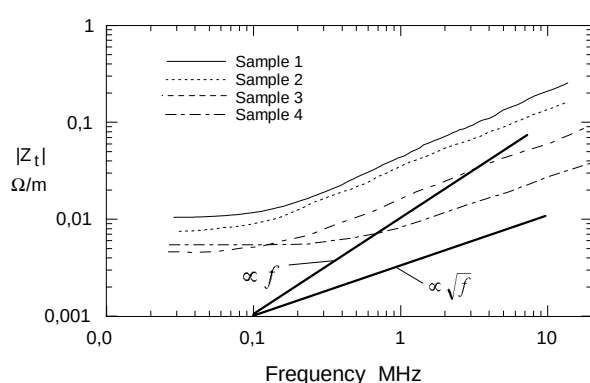
ω est la pulsation (en $2\pi \times \text{Hz}$);

S est le paramètre de fuites du blindage (en m/F);

C'_i est la capacité interne par unité de longueur du câble coaxial (en F/m);

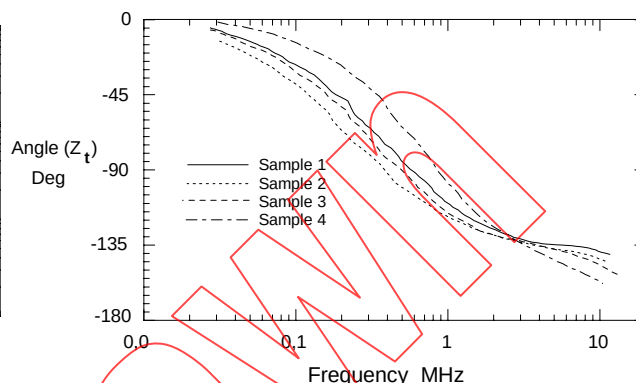
C'_e est la capacité externe par unité de longueur du câble coaxial (en F/m).

Figure 9 illustrates the typical frequency domain behaviour of the measured transfer impedance for four different braided cables having reasonably good shielding. At low frequencies, Z'_t is primarily resistive, with a value equal to the per-unit-length d.c. resistance of the shield. At higher frequencies, the field penetration through the apertures in the braid of the shield begins to affect the internal response and the shielding behaviour is slightly degraded. Accompanying this increase in transfer impedance at high frequencies is an electrical phase variation – a quantity that it is essential to know if any detailed calculations are to be performed using the measured Z'_t .



IEC 1709/2000

Figure 9a – Magnitude



IEC 1710/2000

Figure 9b – Phase

NOTE At high frequencies the curves are proportional to $\sqrt{f}$ rather than f which indicates that responses are not well represented by a simple inductance.

Figure 9 – Measured transfer impedance magnitude and phase of transfer impedance per unit length for four braided shield cables with good shielding properties

Determination of the transfer admittance

The evaluation of the transfer admittance of the cable shield utilizes the general test configuration shown in figure 10. This is similar to the configuration for the transfer impedance measurements, but with different terminations at the cable ends. Using equation (B.5b), together with the same assumptions as for the transfer impedance, the transfer admittance of the shield can be expressed as

$$Y'_t \approx -\frac{1}{L} \frac{I_i}{V_s} \approx -j\omega C'_i C'_e S \quad \text{S/m} \quad (6)$$

where

Y'_t is the cable transfer admittance (in S/m);

I_i is the internal conductor current (in A);

V_s is the excitation voltage of the external circuit of the cable shield (in V);

L is the length of the cable (in m);

ω is the angular frequency (in $2\pi \times \text{Hz}$);

S is the shield leakage parameter (in m/F);

C'_i is the internal per-unit-length capacitance of the coaxial cable (in F/m);

C'_e is the external per-unit-length capacitance of the coaxial cable (in F/m).

Ainsi, une mesure du courant dans le conducteur interne I_i résultant de la tension de source externe V_s fournit l'admittance de transfert. En estimant que Y'_t est purement réactive, on peut déterminer le paramètre de fuite du blindage S , si les capacités internes et externes par unité de longueur du câble coaxial C'_i et C'_e sont connues. Le paramètre S est un nombre simple, à valeur réelle, dépendant uniquement des caractéristiques du câble tressé. C'est donc un descripteur utile relatif aux blindages.

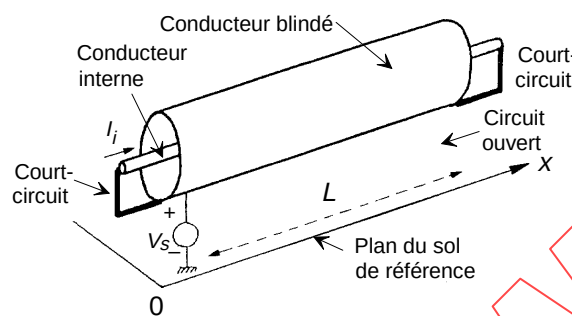


Figure 10 – Configuration de base pour la mesure de l'admittance de transfert

4.2.2 Essais de connecteurs de câble

Les connecteurs sur câbles blindés sont souvent plus importants, pour déterminer le blindage global du système de câbles, que le blindage de câble car le connecteur implique une interruption dans le blindage et, en tant que tel, présente une imperfection dans la topologie de blindage. On peut représenter les effets du connecteur (pour le circuit de transmission interne ou blindé) en utilisant des sources de tension et de courant à constantes localisées au niveau de l'emplacement du connecteur. L'intensité de ces sources est liée au courant et à la tension extérieurs sur le connecteur, multipliés par les grandeurs d'impédance de transfert et d'admittance localisées, comme dans le cas des pénétrations de blindage de câble réparties.

Comme pour un blindage tressé, l'impédance de transfert localisée d'un connecteur comporte une partie résistive et une partie réactive, et l'admittance de transfert d'un connecteur est principalement capacitive. Cependant, les connecteurs sont toujours conçus de façon que la pénétration du champ E dans le dispositif soit très réduite. Par conséquent, les effets de l'admittance de transfert du connecteur sont presque toujours largement plus faibles que les effets provenant de l'impédance de transfert. Généralement, le paramètre d'impédance de transfert localisé est le seul paramètre requis.

La configuration d'essai pour les connecteurs est similaire à celle applicable à l'impédance de transfert du blindage de câble étudiée précédemment. La figure 11 illustre la configuration d'essai générale relative à ces mesures. Des prescriptions identiques à celles de l'essai de blindage de câble sont appliquées ici, et la construction du blindage extérieur doit offrir un blindage plus efficace que le connecteur. On en déduit qu'un blindage solide est préférable à un blindage tressé pour cette mesure.

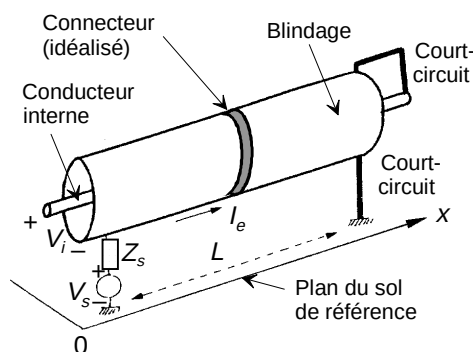


Figure 11 – Configuration d'essai pour la mesure de l'impédance de transfert d'un connecteur

IEC 1712/2000

Thus, a measurement of the internal conductor current arising from the external source voltage provides the transfer admittance. Under the approximation that the Y'_t is purely reactive, the shield leakage parameter can be determined, if the internal and external per-unit-length capacitances of the coaxial cable are known. The parameter S is a single, real-valued number, and depends only on the characteristics of the braided cable. Hence, it is a useful descriptor for cable shields.

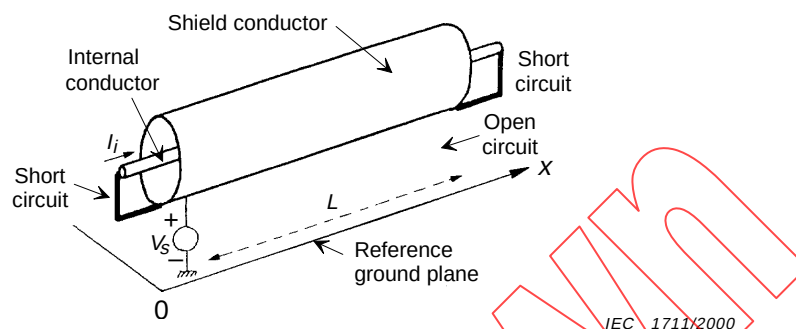


Figure 10 – Basic configuration for transfer admittance measurement

4.2.2 Testing of cable connectors

Connectors on shielded cables are often more important in determining the overall shielding of the cable system than is the cable shield. This is because the connector introduces an interruption to the shield, and, as such, presents an imperfection in the shielding topology. One way to represent the effects of the connector (as seen by the internal, or shielded, transmission line circuit) is by using discrete voltage and current sources at the location of the connector. The strengths of these sources are related to the external current and voltage on the connector multiplied by discrete transfer impedance and admittance parameters representing the connector, much as in the case of the distributed cable shield penetrations.

As in the case of a braided shield, the lumped transfer impedance of a connector contains both a resistive and reactive part, and the transfer admittance of a connector is primarily capacitive. However, cable connectors are always designed so that there is very small E -field penetration through the device. Consequently, the transfer admittance effects of the connector are almost always much lower than the effects from the transfer impedance. Usually, the lumped transfer impedance parameter is the only one required.

The test configuration for cable connectors is similar to that for the cable shield transfer impedance discussed previously. Figure 11 illustrates the general test configuration for such measurements. The same requirements for the test equipment for the cable shield test are required here, and the construction of the outer shield shall be such that it is a much better shield than the connector. This implies that a solid shield is preferable to a braid shield for this measurement.

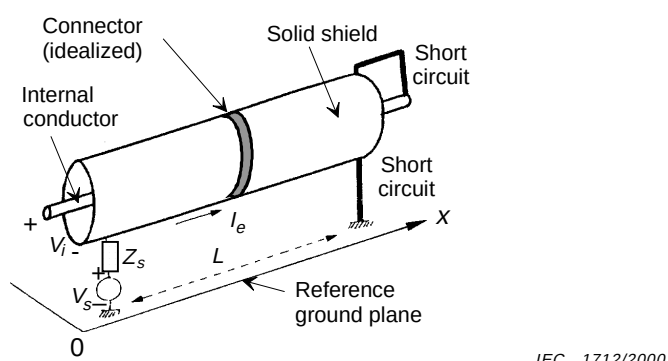


Figure 11 – Test configuration for transfer impedance measurement of a cable connector

Pour une mesure de la tension en circuit ouvert interne V_i , l'impédance de transfert du connecteur est déterminée par la formule

$$Z_t(\omega) = R_t(\omega) + j X_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e} \approx Z_s \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega \quad (7)$$

où

V_i et V_s ont été définis plus haut, et

Z_t est l'impédance de transfert du connecteur (en Ω);

Z_s est l'impédance du circuit externe (en Ω).

Il convient de noter que bien que la longueur du câble L n'apparaisse pas explicitement dans cette formule, il est nécessaire que $L \ll \lambda$. Il convient ainsi que L soit aussi court que possible afin d'optimiser la gamme de fréquences de validité pour les mesures.

4.3 Essais des matériaux de blindage

Il est souvent possible de protéger les imperfections dans la topologie de blindage d'un système en utilisant des méthodes localisées telles que des joints (sur des jonctions, entre des portes et leurs montants), des plaques conductrices ou des écrans (couvrant les ouvertures), ainsi que d'autres mesures spécifiques telles que des nids d'abeille et des guides d'onde au-dessus de la coupure. La caractérisation de ces mesures de protection est différente car leur comportement dépend non seulement de leur composition électrique individuelle, mais également de la manière dont les dispositifs sont reliés à la topologie de blindage. Par exemple, on peut protéger une craquelure très longue en la remplissant de matériau conducteur, ce qui peut être efficace pour assurer la protection contre des courants traversant la craquelure: le matériau conducteur laisse le courant traverser la craquelure sans provoquer de distorsion significative et minimise le champ H sur le côté blindé. Cependant, pour des courants parallèles à la craquelure, la présence ou l'absence de matériau de remplissage protecteur n'a pas d'importance. Le courant n'est pas affecté de façon significative par la fissure et il n'est pas nécessaire de fournir une protection contre cette composante de courant.

Pour décrire les essais adaptés à ces composants, nous essayerons donc de caractériser la propriété de blindage intrinsèque du dispositif de protection, indépendamment de son application dans une installation particulière. Cela signifie qu'un composant particulier peut être identifié comme un dispositif de protection «satisfaisant» dans une installation, mais que du fait de ses particularités d'utilisation dans une autre installation, il peut être considéré comme «insuffisant» dans ce cas. L'évaluation du comportement global d'un système ainsi que de l'ensemble de ses dispositifs de protection est réalisable par des essais effectués au niveau du système, ce qui dépasse le cadre de la présente norme.

4.3.1 Joints conducteurs

La figure 12 présente plusieurs configurations de joints conducteurs servant de dispositif de protection IEMN-HA. Le mécanisme de protection de base est le suivant: le joint forme un trajet conducteur entre les deux parties de l'enceinte, ce qui empêche les fuites de courant et de charge à l'intérieur (c'est-à-dire dans la région protégée). Chacune des trois configurations de la figure présente un comportement de blindage différent, du fait des différences de géométrie des parois de l'enceinte entourant le joint.

Given a measurement of the internal open-circuit voltage, the transfer impedance of the connector is determined by the expression

$$Z_t(\omega) = R_t(\omega) + j x_t(\omega) \approx \frac{V_i}{I_e} \approx Z_s \frac{V_i}{V_s} \quad \Omega \quad (7)$$

where

V_i and V_s have been defined previously, and

Z_t is the transfer impedance of the connector (in Ω);

Z_s is the impedance of the external circuit (in Ω).

It should be noted that while the length of the cable, L , does not appear explicitly in this expression, it is necessary that $L \ll \lambda$. Thus L should be as short as possible to maximize the frequency range of validity for the measurements.

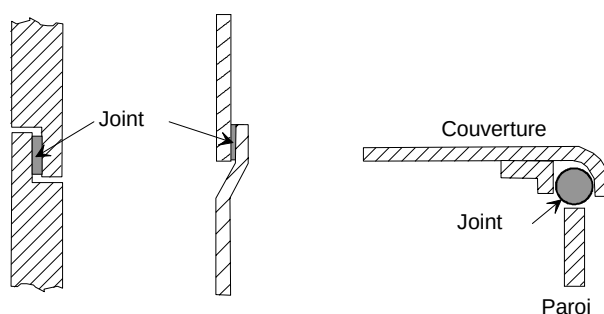
4.3 Testing of shielding materials

Imperfections in the shielding topology of a system can often be protected by using localized methods such as gaskets (on seam or between doors and their jambs), conducting sheets or screens (covering apertures), and other specialized measures like honeycombs and waveguides beyond cut-off. Characterizing these protection measures is different because their behaviour depends not only on their individual electrical composition, but also on how the devices are connected to the shielding topology. For example, a very long crack might be protected by filling it with a conducting material. This could be effective in protecting against currents flowing across the crack: the conducting material lets the current pass over the crack without much distortion and the H -field on the shielded side is minimized. However, for currents parallel to the crack, the presence or absence of the protective filling is unimportant. The current is not significantly affected by the slit, and any protection against this current component is unnecessary.

In describing tests suitable for these components, therefore, an attempt is made to characterize the intrinsic shielding property of the protection device, independently of how it is used in a particular installation. This means that a particular component might be classified as a "good" protective device in one installation, but due to the particularities of how it is used in another facility, considered to be a "poor" component in another installation. Evaluating the global behaviour of a system, together with all of its protection devices, is the role of system level testing, a subject which is beyond the scope of this standard.

4.3.1 Conducting gaskets

Figure 12 shows several configurations of a conducting gasket serving as a HEMP protection device. The basic mechanism for protection is that the gasket forms a conducting path between the two parts of the enclosure; this keeps current and charge from "leaking" into the inside (i.e. into the protected region). Each of the three configurations in the figure has a different shielding behaviour, due to the differences in the geometry of the enclosure walls that surround the gasket.

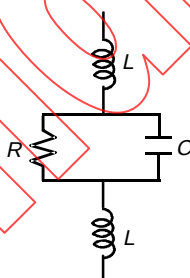


IEC 1713/2000

Figure 12 – Exemples d'utilisation de joints conducteurs en tant que dispositifs de protection IEMN-HA

Il est possible de réaliser un modèle de circuit simple mais général pour un joint d'étanchéité, en notant les parties importantes de la géométrie dans la figure 12. La circulation du courant d'un conducteur à un autre doit passer au travers du joint, qui présentera une résistance électrique au courant. De même, les plaques des deux côtés du joint apparaissent localement comme une capacité au travers de laquelle un courant de déplacement peut circuler. Finalement, les conducteurs métalliques des deux parois forment une inductance dans ce circuit.

La figure 13 montre la représentation de circuit équivalente pour ce type d'ouverture à joint. La résistance du joint et la capacité de l'ouverture du joint apparaissent en parallèle et cette combinaison est en série avec les inductances représentant les trajets du courant au travers des parois de l'enceinte. Les valeurs spécifiques pour L et C dépendent de la géométrie locale du joint, tandis que la valeur de R dépend à la fois de la géométrie et des propriétés électriques intrinsèques du matériau du joint.

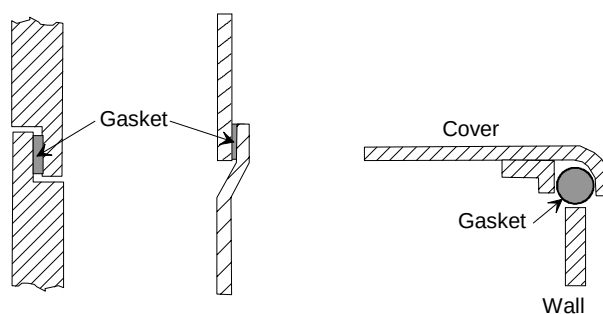


IEC 1714/2000

Figure 13 – Modèle de circuit représentant le comportement d'un joint conducteur de protection IEMN-HA

Ces valeurs de circuit peuvent être mesurées ou calculées en utilisant des modèles simples pour la forme et la géométrie spécifiques à l'étude d'un problème donné. Pour caractériser les propriétés électriques du matériau du joint, on peut cependant mesurer la *résistivité électrique* du matériau du joint. Cette grandeur est indépendante de l'environnement du joint et peut être utilisée pour situer l'efficacité d'un type de joint par rapport à un autre. Il est à noter, toutefois, que ces joints sont généralement réalisés en un matériau souple et que leurs caractéristiques dépendent donc de la pression de contact comme dans tous les exemples de la figure 12. L'âge des matériaux du joint constitue également un facteur.

La figure 14 illustre la configuration de mesure relative à la résistivité. Il s'agit de la méthode à quatre électrodes, spécialement conçue pour réaliser des mesures de matériaux à très faible résistivité. Pour cette mesure, un bloc de matériau de joint est placé en sandwich entre deux électrodes en cuivre ou fabriquées dans un autre matériau fortement conducteur. Une source de tension continue extérieure est reliée aux bornes des deux électrodes extérieures et l'on fait passer un courant au travers de l'électrode. La chute de tension qui en résulte, au niveau de l'échantillon, est mesurée à l'aide d'un voltmètre à impédance d'entrée élevée de façon à ne pas perturber la circulation de courant dans l'échantillon. Une fois ces paramètres mesurés, la résistivité moyenne en c.c. du matériau de l'échantillon est donnée par la formule:

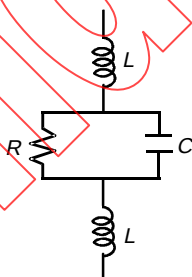


IEC 1713/2000

Figure 12 – Examples of conducting gaskets used as HEMP protection devices

A simple yet general circuit model for a gasket seal can be made by noting the important parts of the geometry in figure 12. Current flowing from one conductor to another has to pass through the gasket and this will present an electrical resistance to the current. Similarly, the flat plates on either side of the gasket appear locally as a capacitance through which a displacement current can flow. Finally, the metal conductors of the two walls form an inductance in this circuit.

Figure 13 shows the equivalent circuit representation of such a gasketed opening. The resistance of the gasket and the capacitance of the gasket opening appear in parallel, and this combination is in series with the inductances representing the current paths through the walls of the enclosure. Specific values for L and C depend on the local geometry of the seal, whereas the value of R depends on both the geometry and on the intrinsic electrical properties of the gasket material.



IEC 1714/2000

Figure 13 – Circuit model representing the behaviour of a conducting gasket for HEMP protection

These circuit values can be measured or calculated using simple models for the specific shape and geometry under consideration for a given problem. For characterizing the electrical properties of the gasket material, however, measurements of electrical resistivity of the gasket material can be used. This quantity is independent of the surroundings of the gasket and can be used to rank the effectiveness of one type of gasket with another. It should be noted, however, that such gaskets are usually made of flexible material, and, therefore, their characteristics are dependent on contact pressure as in all examples of figure 12. The age of gasket materials is also a factor.

Figure 14 illustrates the measurement configuration for the resistivity. This is the four-electrode method, and it is specially designed so that measurements of materials with very low resistivities can be made. For this measurement, a block of the gasket material is sandwiched between two electrodes made from copper or another highly conducting material. An external d.c. voltage source is connected across the two outer electrodes and a current is allowed to pass through the electrode. The resulting voltage drop across the sample is measured using a high input impedance voltmeter, so as not to disturb the current flow in the sample. With these parameters measured, the d.c. resistivity of the sample material is given by the expression:

$$\rho_{DC} = \frac{V_s}{I_0} \frac{A}{L} \quad \Omega \cdot m \quad (8)$$

où

ρ_{DC} est la résistivité moyenne en c.c. du matériau de l'échantillon (en $\Omega \cdot m$);

A est la section de l'échantillon du matériau du joint (en m^2);

L est l'épaisseur de l'échantillon (en m);

I_0 est le courant qui passe à travers l'échantillon (en A);

V_s est la chute de tension sur l'échantillon (en V).

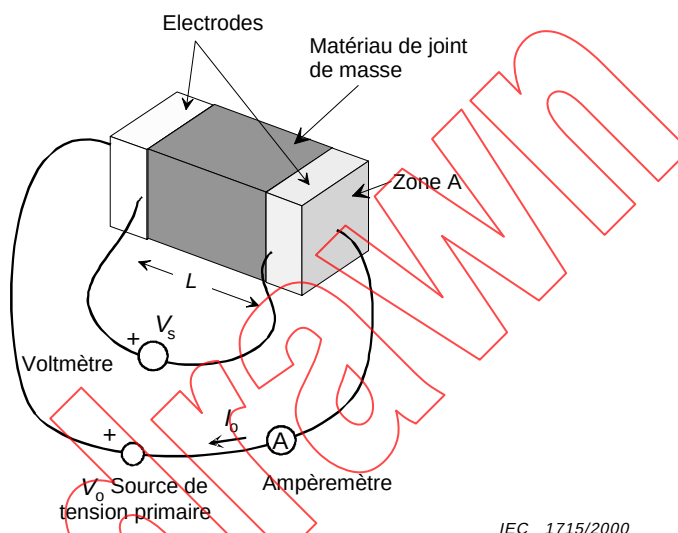


Figure 14 – Configuration de mesure de la résistivité d'un échantillon

Des mesures similaires peuvent être réalisées à fréquence plus élevée et une impédance de joint dépendant de la fréquence peut être mesurée. Cependant, cette grandeur est d'application limitée, car ses variations de fréquence peuvent facilement être confondues avec celles du matériel de montage du joint et de son environnement. Par conséquent, la résistivité en c.c. représente le paramètre le plus fréquemment utilisé pour caractériser le matériau du joint.

4.3.2 Plaques et écrans conducteurs

Des plaques ou écrans conducteurs réalisés en matériau conducteur sont souvent utilisés pour limiter la pénétration IEMN-HA à travers des ouvertures du blindage. Parmi ces dispositifs de protection, on distingue les éléments suivants:

- treillis en toile métallique;
- revêtements de peinture conducteurs;
- revêtements métallisés sous vide;
- pistolets à flamme/arc électrique;
- feuilles métalliques bordant des cases d'équipement;
- matériaux de remplissage métalliques ajoutés aux enceintes en plastique.

Comme dans le cas d'un matériau de joint, il est possible de caractériser ces dispositifs de protection soit en mesurant leur comportement de blindage dans une configuration topologique spécifique, soit en mesurant certaines propriétés électriques intrinsèques du matériau de blindage. Cette dernière mesure peut ne pas donner d'indication précise sur le fonctionnement du dispositif de protection dans une installation arbitraire, mais elle fournit en revanche une technique utile pour faire la distinction entre un matériau de protection et un autre de manière cohérente. Deux concepts d'essai relatifs aux dispositifs de protection d'ouverture conducteurs sont étudiés en 4.3.2.1 et 4.3.2.2: l'un mesure la résistivité du matériau conducteur, l'autre mesure l'efficacité de blindage du matériau utilisé pour le blindage dans des conditions contrôlées.