

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62153-4-7

Première édition
First edition
2006-04

**Méthodes d'essai des câbles métalliques
de communication –**

**Partie 4-7:
Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Méthode d'essai pour mesurer l'impédance
de transfert et l'affaiblissement d'écran –
ou l'affaiblissement de couplage –
Méthode des tubes concentriques**

Metallic communication cables test methods –

**Part 4-7:
Electromagnetic compatibility (EMC) –
Test method for measuring the transfer
impedance and the screening – or the coupling
attenuation – Tube in tube method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62153-4-7:2006

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/searchpub) 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/online_news/justpub) 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/searchpub) 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/online_news/justpub) 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**

62153-4-7

Première édition
First edition
2006-04

**Méthodes d'essai des câbles métalliques
de communication –**

**Partie 4-7:
Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Méthode d'essai pour mesurer l'impédance
de transfert et l'affaiblissement d'écran –
ou l'affaiblissement de couplage –
Méthode des tubes concentriques**

Metallic communication cables test methods –

**Part 4-7:
Electromagnetic compatibility (EMC) –
Test method for measuring the transfer
impedance and the screening – or the coupling
attenuation – Tube in tube method**

© IEC 2006 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	12
4 Principe de la méthode d'essai	16
5 Support théorique	20
6 Procédure	20
6.1 Équipement	20
6.2 Connexion entre le tube d'extension et le dispositif en essai	20
6.3 Plage dynamique ou bruit de fond	22
6.4 Impédance du système interne	22
6.5 Préparation d'échantillon	28
7 Mesure	30
7.1 Impédance de transfert	30
7.2 Affaiblissement de blindage	32
7.3 Affaiblissement de couplage	32
8 Expression des résultats	34
8.1 Impédance de transfert et impédance de transfert efficace	34
8.2 Affaiblissement d'écran	34
8.3 Affaiblissement de couplage	36
8.4 Exigences	38
Annexe A (informative) Mesures de l'efficacité du blindage des connecteurs et des ensembles de câbles	40
Annexe B (informative) Influence des résistances de contact	62
Bibliographie	66
Figure 1 – Définition de Z_T	14
Figure 2 – Principe de montage d'essai pour mesurer les impédances de transfert et l'affaiblissement d'écran ou de couplage de connecteurs	18
Figure 3 – Principe de montage d'essai pour mesurer les impédances de transfert et l'affaiblissement d'écran d'ensembles de câbles courts	18
Figure 4 – Principe de montage pour l'essai de vérification	22
Figure 5 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 < 50 \Omega$	26
Figure 6 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 > 50 \Omega$	26
Figure 7a – Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran	28
Figure 7b – Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'affaiblissement de couplage	30
Figure 7 – Préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs	30

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	13
4 Principle of the test method	17
5 Theoretical background	21
6 Procedure	21
6.1 Equipment.....	21
6.2 Connection between extension tube device under test.....	21
6.3 Dynamic range respectively noise floor	23
6.4 Impedance of the inner system.....	23
6.5 Sample preparation	29
7 Measurement	31
7.1 Transfer impedance.....	31
7.2 Screening attenuation	33
7.3 Coupling attenuation	33
8 Expression of results	35
8.1 Transfer impedance and effective transfer impedance	35
8.2 Screening attenuation	35
8.3 Coupling attenuation	37
8.4 Requirement.....	39
Annex A (informative) Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies.....	41
Annex B (informative) Influence of contact resistances	63
Bibliography.....	67
Figure 1 – Definition of Z_T	15
Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedances and screening or coupling attenuation of connectors	19
Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedances and screening attenuation of short cable assemblies	19
Figure 4 – Principle set-up for verification test	23
Figure 5 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$	27
Figure 6 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$	27
Figure 7a – Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance and screening attenuation	29
Figure 7b – Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for coupling attenuation.....	31
Figure 7 – Preparation of balanced or multiconductor connectors	31

Figure 8 – Mesure de l'impédance de transfert avec des tubes concentriques	30
Figure 9 – Mesure de l'affaiblissement d'écran avec des tubes concentriques	32
Figure 10 – Mesure de l'affaiblissement de couplage avec des tubes concentriques	34
Figure 11 – Mesure typique d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m	38
Figure A.1 – Circuit équivalent des lignes de transmission couplées	42
Figure A.2 – Fonction somme S	44
Figure A.3 – Fonction de transfert de couplage calculée ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)	46
Figure A.4 – Montage triaxial pour la mesure de l'affaiblissement d'écran a_s et l'impédance de transfert Z_T	50
Figure A.5 – simulation d'un ensemble de câbles (échelle logarithmique)	52
Figure A.6 – simulation d'un ensemble de câbles (échelle linéaire)	52
Figure A.7 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les ensembles de câbles courts	54
Figure A.8 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les connecteurs	56
Figure A.9 – Simulation, échelle logarithmique	58
Figure A.10 – Mesure, échelle logarithmique	58
Figure A.11 – Simulation, échelle linéaire	58
Figure A.12 – Mesure, échelle linéaire	58
Figure A.13 – Simulation, échelle logarithmique	58
Figure A.14 – Simulation, échelle linéaire	58
Figure B.1 – Résistances de contact du montage d'essai	62
Figure B.2 – Circuit équivalent du montage d'essai	64

Figure 8 – Measuring the transfer impedance with tube in tube	31
Figure 9 – Measuring the screening attenuation with tube in tube	33
Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube	35
Figure 11 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube ..	39
Figure A.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines	43
Figure A.2 – Summing function S	45
Figure A.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$).....	47
Figure A.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_s and the transfer impedance Z_T	51
Figure A.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale)	53
Figure A.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale).....	53
Figure A.7 – Triaxial set-up with extension tube for short cable assemblies	55
Figure A.8 – Triaxial set-up with extension tube for connectors.....	57
Figure A.9 – Simulation, logarithmic frequency scale	59
Figure A.10 – Measurement, logarithmic frequency scale.....	59
Figure A.11 – Simulation, linear frequency scale.....	59
Figure A.12 – Measurement, linear frequency scale.....	59
Figure A.13 – Simulation, logarithmic frequency scale	59
Figure A.14 – simulation, linear frequency scale	59
Figure B.1 – Contact resistances of the test set-up	63
Figure B.2 – Equivalent circuit of the test set-up.....	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran – ou l'affaiblissement de couplage – Méthode des tubes concentriques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62153-4-7 a été établie par le sous-comité 46A: Câbles coaxiaux, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
46A/797/FDIS	46A/814/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

**Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) –
Test method for measuring the transfer impedance
and the screening – or the coupling attenuation –
Tube in tube method**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62153-4-7 has been prepared by subcommittee 46A: Coaxial cables, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, r.f. connectors, r.f. and microwave passive components and accessories.

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

FDIS	Report on voting
46A/797/FDIS	46A/414/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.

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

La CEI 62153 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication*:

- Partie 1-1: Electrique – Mesure de la perte par réflexions à une impulsion/échelon dans le domaine fréquentiel en utilisant la Transformée Inverse de Fourier Discrète (TIFD)
- Partie 1-2: Reflection measurement correction ¹
- Partie 4-0: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Relationship between Surface transfer impedance and Screening attenuation, recommended limits ¹
- Partie 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements ¹
- Partie 4-2: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran et de couplage – Méthode de la pince à injection
- Partie 4-3: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance surfacique de transfert – Méthode triaxiale
- Partie 4-4: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation "as " up to and above 3 GHz
- Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou de couplage – Méthode de la pince absorbante
- Partie 4-6: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance de transfert de surface – Méthode d'injection de ligne
- Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran – ou l'affaiblissement de couplage – Méthode des tubes concentriques
- Partie 4-8: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Capacitive Coupling Admittance ¹

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

¹ A l'étude.

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

IEC 62153 consists of the following parts, under the general title *Metallic communication cable test methods*:

- Part 1-1: Electrical – Measurement of the pulse/step return loss in the frequency domain using the Inverse Discrete Fourier Transformation (IDFT)
- Part 1-2: Reflection measurement correction ¹
- Part 4-0: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Relationship between Surface transfer impedance and Screening attenuation, recommended limits ¹
- Part 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements ¹
- Part 4-2: Electromagnetic compatibility (EMC) – Screening and coupling attenuation – Injection clamp method
- Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method
- Part 4-4: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation "as" up to and above 3 GHz
- Part 4-5: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Coupling or screening attenuation – absorbing clamp method
- Part 4-6: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – line injection method
- Part 4-7: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring the transfer impedance and the screening – or the coupling attenuation – Tube in tube method
- Part 4-8: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Capacitive Coupling Admittance ¹

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

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

¹ Under consideration.

INTRODUCTION

Le montage d'essai d'affaiblissement d'écran blindé selon la CEI 62153-4-4 (méthode triaxiale) a été étendu pour prendre en compte les particularités des petits éléments électriques comme les connecteurs et les ensembles de câbles. En raison du tube concentrique extérieur du montage triaxial, les mesures sont indépendantes des irrégularités de la circonférence et des champs électromagnétiques externes.

En utilisant un tube résonnant supplémentaire (le tube interne des tubes concentriques), on crée un système dans lequel l'efficacité du blindage d'un dispositif électriquement court est mesurée dans des conditions proches de la réalité et contrôlées. En outre, une fréquence de coupure inférieure pour la transition entre électriquement court (impédance de transfert Z_T) et électriquement long (affaiblissement d'écran a_s) peut être obtenue.

Une large gamme de fréquences et dynamique peut être appliquée pour contrôler des ensembles de câbles et de connecteurs même fortement blindés avec des instruments normaux depuis les basses fréquences jusqu'à la limite des ondes transversales définies dans le circuit externe à environ 4 GHz.

INTRODUCTION

The shielded screening attenuation test set-up according to IEC 62153-4-4 (triaxial method) has been extended to take into account the particularities of electrical short elements like connectors and cable assemblies. Due to the concentric outer tube of the triaxial set-up, measurements are independent of irregularities on the circumference and outer electromagnetic fields.

With the use of an additional resonator tube (inner tube respectively tube in tube) a system is created where the screening effectiveness of an electrically short device is measured in realistic and controlled conditions. Also a lower cut off frequency for the transition between electrically short (transfer impedance Z_T) and electrically long (screening attenuation a_s) can be achieved.

A wide dynamic and frequency range can be applied to test even super screened connectors and assemblies with normal instrumentation from low frequencies up to the limit of defined transversal waves in the outer circuit at approximately 4 GHz.

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran – ou l'affaiblissement de couplage – Méthode des tubes concentriques

1 Domaine d'application

Cette méthode triaxiale convient pour déterminer l'impédance surfacique de transfert et/ou l'affaiblissement d'écran et l'affaiblissement de couplage de connecteurs blindés adaptés (y compris la connexion entre un câble et un connecteur) et d'ensembles de câbles. Cette méthode peut également être étendue pour déterminer l'impédance de transfert, l'affaiblissement d'écran ou de couplage de connecteurs symétriques ou à plusieurs broches et d'ensembles de câbles.

2 Références normatives

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

CEI 61196-1:2005, *Câbles coaxiaux de communication – Partie 1: Spécification générique – Généralités, définitions et exigences*

CEI 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz*²

3 Termes et définitions

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

3.1

impédance surfacique de transfert

Z_T

pour un écran électriquement court, quotient de la tension longitudinale U_1 induite dans le circuit interne par le courant I_2 délivré au circuit externe ou vice versa [Ω] (voir Figure 1)

L'impédance Z_T d'un écran électriquement court est exprimée en ohms [Ω] ou en décibels par rapport à 1 Ω .

² A publier

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring the transfer impedance and the screening – or the coupling attenuation – Tube in tube method

1 Scope

This triaxial method is suitable to determine the surface transfer impedance and/or screening attenuation and coupling attenuation of mated screened connectors (including the connection between cable and connector) and cable assemblies. This method could also be extended to determine the transfer impedance, coupling or screening attenuation of balanced or multipin connectors and cable assemblies.

2 Normative references

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

IEC 61196-1:2005, *Coaxial communication cables – Part 1: Generic specification – General, definitions and requirements*

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz²*

3 Terms and definitions

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

3.1 surface transfer impedance

Z_T

for an electrically short screen, quotient of the longitudinal voltage U_1 induced to the inner circuit by the current I_2 fed into the outer circuit or vice versa [Ω] (see Figure 1)

The value Z_T of an electrically short screen is expressed in ohms [Ω] or decibels in relation to 1 Ω .

² To be published

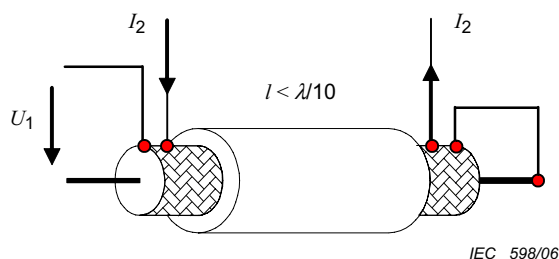


Figure 1 – Définition de Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) \quad (2)$$

3.2 impédance de transfert efficace

Z_{TE}
impédance définie comme:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

où Z_F est l'impédance de couplage capacitif.

3.3 affaiblissement d'écran

a_s
pour les dispositifs électriquement longs, c'est-à-dire au-delà de la fréquence de coupure, le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance couplée $P_{r,max}$ dans le circuit externe

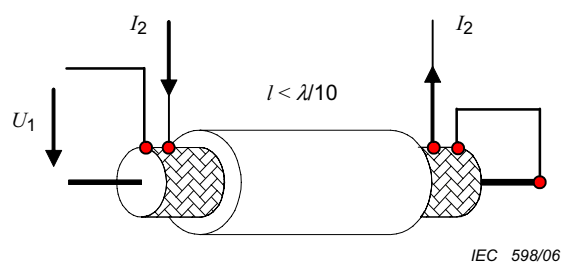
$$a_s = -10 \times \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,max}}{P_1} \right| \right) \quad (4)$$

L'affaiblissement d'écran d'un dispositif électriquement court est défini par:

$$a_s = -20 \times \log_{10} \frac{150\Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

où

150 Ω est l'impédance normalisée du circuit externe.

Figure 1 – Definition of Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1 \Omega} \right) \quad (2)$$

3.2 effective transfer impedance

Z_{TE}
impedance defined as:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

where Z_F is the capacitive coupling impedance.

3.3 screening attenuation

a_s

for electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,\max}$ in the outer circuit

$$a_s = -10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{r,\max}}{P_1} \right) \quad (4)$$

The screening attenuation of an electrically short device is defined as:

$$a_s = -20 \times \log_{10} \frac{150 \Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

where

150 Ω is the standardized impedance of the outer circuit.

3.4 affaiblissement de couplage

a_c
pour un dispositif symétrique blindé, somme de l'affaiblissement asymétrique a_U de la paire symétrique et de l'affaiblissement d'écran a_S de l'écran du dispositif en essai

Pour les dispositifs électriquement longs, c'est-à-dire au-delà de la fréquence de coupure, l'affaiblissement de couplage a_c est défini comme le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance couplée $P_{r,max}$ dans le circuit externe.

3.5 longueur de couplage

la longueur de couplage est électriquement courte si

$$\lambda_0/l > 10 \times \sqrt{\epsilon_{r1}} \quad \text{ou} \quad f < \frac{c_0}{10 \times l \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (6)$$

ou électriquement longue si

$$\lambda_0/l \leq 2 \times |\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}| \quad \text{ou} \quad f > \frac{c_0}{2 \times l \times |\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}|} \quad (7)$$

où

- l est la longueur de couplage efficace en m;
- λ_0 est la longueur d'onde de l'espace libre en m;
- ϵ_{r1} est la permittivité relative résultante du diélectrique du câble;
- ϵ_{r2} est la permittivité relative résultante du diélectrique du circuit secondaire;
- f est la fréquence en Hz;
- c_0 est la vitesse de la lumière en espace libre.

3.6 dispositif en essai

dispositif constitué de connecteurs adaptés avec leurs câbles attachés

4 Principe de la méthode d'essai

Généralement, les connecteurs RF ont des dimensions mécaniques selon l'axe longitudinal dans une gamme comprise entre 20 mm et 50 mm maximum. Avec la définition des courts éléments électriques, on obtient des fréquences de coupure ou des fréquences de cassure ou une cassure pour la transition entre les éléments électriquement courts et électriquement longs d'environ 1 GHz ou plus pour des connecteurs RF habituels.

Dans la gamme de fréquences jusqu'à la fréquence de coupure, où le dispositif en essai est électriquement court, il est possible de mesurer l'impédance de transfert du dispositif en essai. Pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure, où le dispositif en essai est électriquement long, on peut mesurer l'affaiblissement d'écran.

3.4 coupling attenuation

a_c

for a screened balanced device, sum of the unbalance attenuation a_U of the symmetric pair and the screening attenuation a_S of the screen of the device under test

For electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, the coupling attenuation a_c is defined as the logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,max}$ in the outer circuit.

3.5 coupling length

the coupling length is electrically short, if

$$\lambda_0/l > 10 \times \sqrt{\epsilon_{r1}} \quad \text{or} \quad f < \frac{c_0}{10 \times l \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (6)$$

or electrically long, if

$$\lambda_0/l \leq 2 \times |\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}| \quad \text{or} \quad f > \frac{c_0}{2 \times l \times |\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}|} \quad (7)$$

where

- l is the effective coupling length in m;
- λ_0 is the free space wave length in m;
- ϵ_{r1} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the cable;
- ϵ_{r2} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the secondary circuit;
- f is frequency in Hz;
- c_0 is the velocity of light in free space.

3.6 device under test

device consisting of the mated connectors with their attached cables

4 Principle of the test method

Usually RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 20 mm to maximum 50 mm. With the definition of electrical short elements we get cut off or corner frequencies or corner for the transition between electrically short and long elements of about 1 GHz or higher for usual RF-connectors.

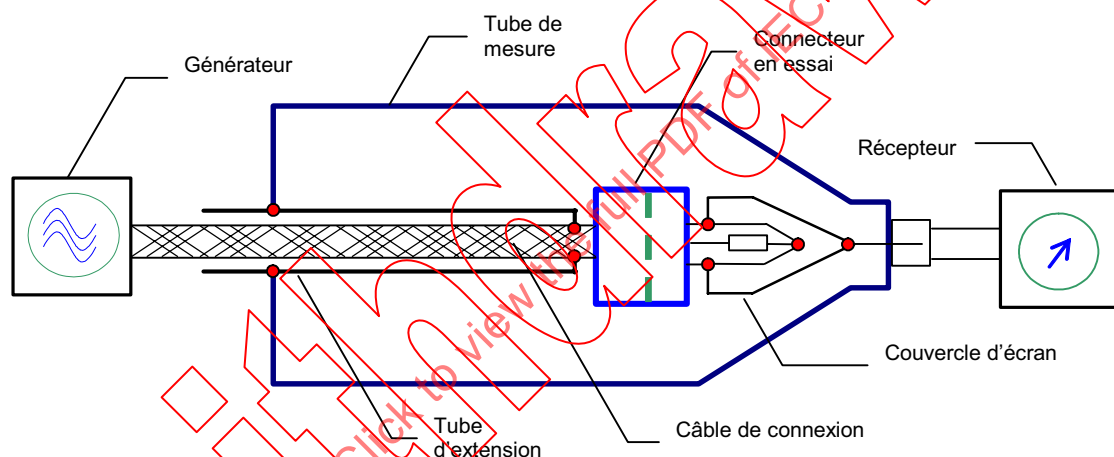
In the frequency range up to the cut off frequency, where the device under test (DUT) is electrically short, the transfer impedance of the DUT can be measured. For frequencies above the cut-off frequency, where the DUT is electrically long, the screening attenuation can be measured.

En étendant la longueur électrique du connecteur RF par un tube d'extension métallique fermé ne laissant pas passer les radiofréquences (tubes concentriques), la combinaison contrôlée devient électriquement longue et la fréquence de coupure est déplacée vers la gamme de fréquences inférieure. De cette manière, même dans la gamme de fréquences inférieure, l'affaiblissement d'écran peut être mesuré et l'impédance de transfert efficace peut être calculée sur les dispositifs avec une longueur électrique courte.

Le montage d'essai est un système triaxial constitué du dispositif en essai, d'un tube métallique massif et d'un tube d'extension ne laissant pas passer les radiofréquences. Le dispositif en essai adapté, qui est alimenté par un générateur, forme le circuit perturbant, qui peut aussi être appelé circuit primaire ou interne.

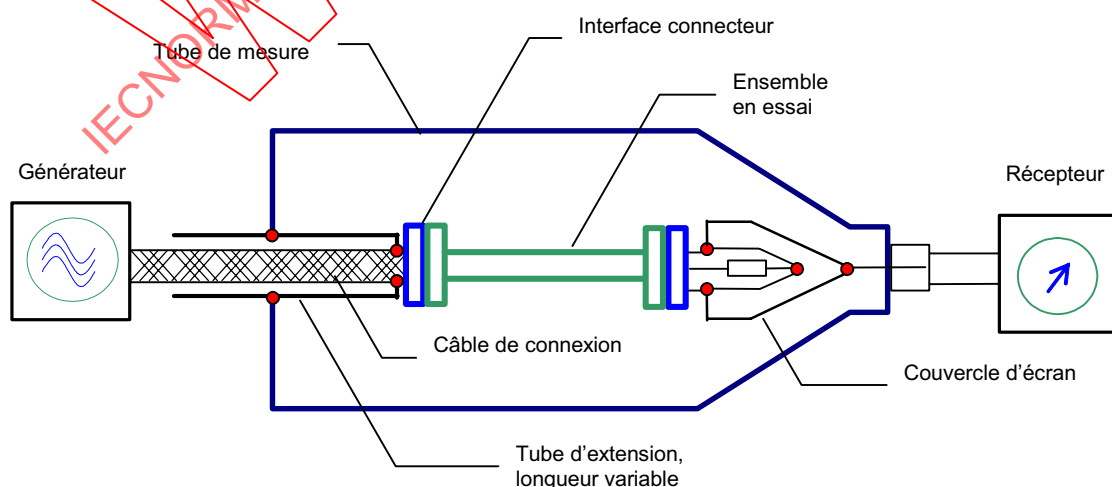
Le circuit perturbé, qui peut aussi être appelé circuit secondaire ou externe, est formé par le conducteur extérieur du dispositif en essai, connecté au tube d'extension et à un tube métallique solide dans l'axe duquel se trouve le dispositif en essai.

Le principe du montage d'essai est représenté sur la Figure 2 et la Figure 3. Le montage d'essai est le même pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage, où la longueur du tube intérieur et du tube extérieur peut varier.



IEC 599/06

Figure 2 – Principe de montage d'essai pour mesurer les impédances de transfert et l'affaiblissement d'écran ou de couplage de connecteurs



IEC 600/06

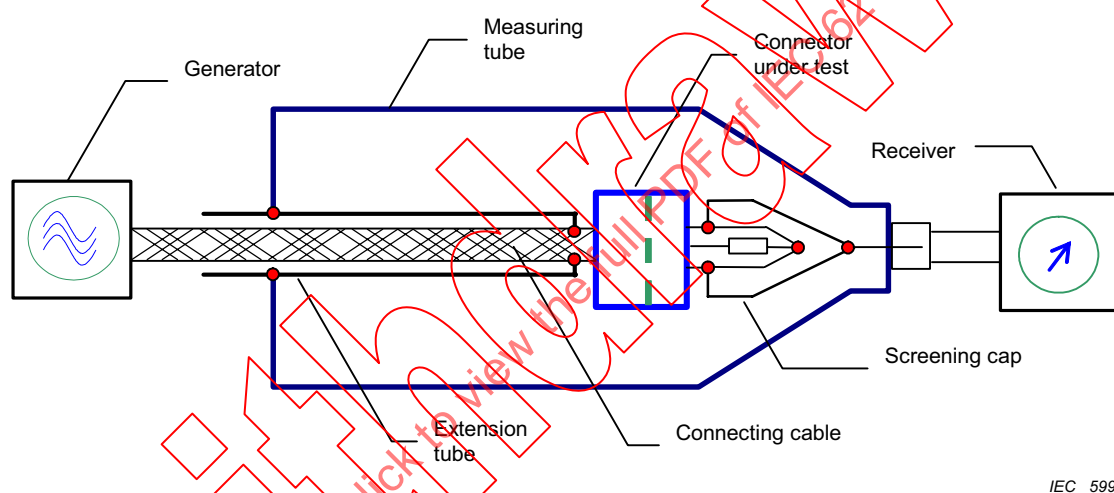
Figure 3 – Principe de montage d'essai pour mesurer les impédances de transfert et l'affaiblissement d'écran d'ensembles de câbles courts

By extending the electrical length of the RF-connector by a RF-tightly closed metallic extension tube (tube in tube), the tested combination becomes electrically long and the cut-off frequency is moved towards the lower frequency range. In this way, also in the lower frequency range, the screening attenuation may be measured and the effective transfer impedance of electrical short devices calculated.

The test set up is a triaxial system consisting of the DUT, a solid metallic tube and a RF-tight extension tube. The matched device under test, DUT, which is fed by a generator forms the disturbing circuit which may also be designated as the inner or the primary circuit.

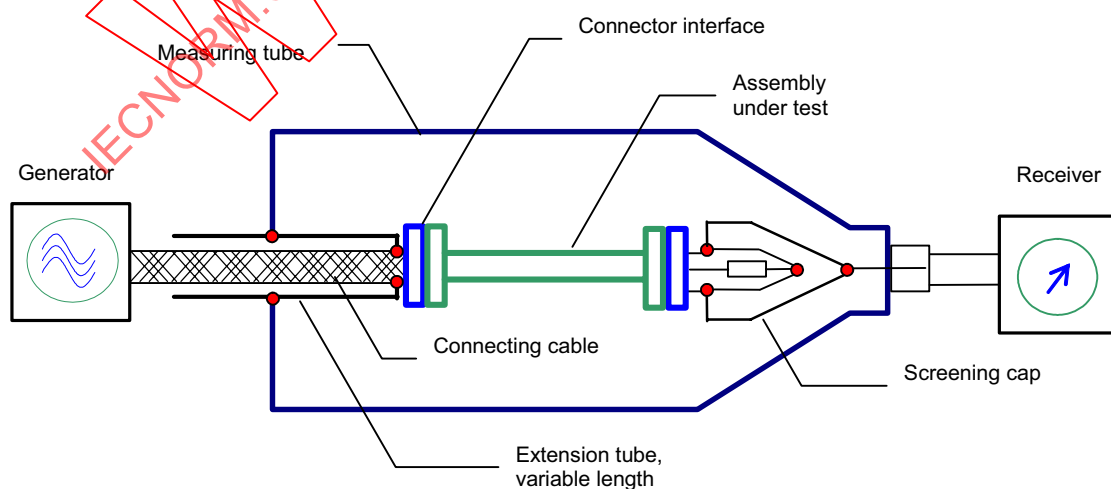
The disturbed circuit, which may also be designated as the outer or the second circuit, is formed by the outer conductor of the device under test, connected to the extension tube and a solid metallic tube having the DUT under test in its axis.

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and Figure 3. The set-up is the same for measuring the transfer impedance and the screening attenuation or the coupling attenuation, where the length of the inner and the outer tube may vary.



IEC 599/06

Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedances and screening or coupling attenuation of connectors



IEC 600/06

Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedances and screening attenuation of short cable assemblies

Le rapport de tensions entre la tension au niveau de l'extrémité la plus proche (U_1) du circuit interne (générateur) et la tension au niveau de l'extrémité la plus éloignée (U_2) du circuit secondaire (récepteur) doit être mesuré (U_1/U_2). L'extrémité la plus proche du circuit secondaire est en court-circuit.

En fonction de la longueur électrique de la combinaison contrôlée, le dispositif en essai et le tube d'extension, le résultat peut être exprimé par l'impédance de transfert, l'impédance de transfert efficace ou l'affaiblissement d'écran (ou l'affaiblissement de couplage).

Pour cette mesure, un récepteur adapté n'est pas nécessaire. Les éventuelles crêtes de tension au niveau de l'extrémité la plus éloignée ne sont pas dépendantes de l'impédance d'entrée du récepteur, à condition que cette dernière soit inférieure à l'impédance caractéristique du circuit secondaire. Toutefois, il est préférable d'avoir un faible défaut d'adaptation, par exemple en choisissant une gamme de diamètres de tube pour plusieurs tailles de câbles coaxiaux.

5 Support théorique

Se reporter à l'Annexe A.

6 Procédure

6.1 Équipement

Le principe du montage d'essai est représenté sur les Figures 2 et 3 et est constitué de:

- un appareillage de forme coaxiale triple de longueur suffisante pour produire une superposition des ondes dans des bandes de fréquences étroites, ce qui permet de dessiner la courbe de l'enveloppe,
- un tube de longueur variable, par exemple différentes parties de tube et/ou des tubes concentriques mobiles,
- un tube d'extension ne laissant pas passer les radiofréquences, de longueur variable. Il est recommandé que le diamètre du tube soit tel que l'impédance caractéristique du tube externe soit égale à 50Ω ou l'impédance nominale de l'analyseur de réseau ou du générateur et du récepteur,
- le matériau du tube d'extension ne doit pas être ferromagnétique et doit être très conducteur (cuivre ou laiton) et doit avoir une épaisseur ≥ 1 mm de telle sorte que l'impédance de transfert soit négligeable par rapport à l'impédance de transfert du dispositif en essai,
- un générateur de signal avec la même impédance caractéristique que le câble en essai ou avec un adaptateur d'impédance et un amplificateur de puissance, si nécessaire, pour un affaiblissement d'écran très élevé,
- un symétriseur avec un affaiblissement asymétrique suffisant,
- un récepteur avec un affaiblisseur à gradins étalonné ou un analyseur de réseau.

NOTE Le générateur et le récepteur peuvent être installés dans un analyseur de réseau.

6.2 Connexion entre le tube d'extension et le dispositif en essai

La connexion entre le tube d'extension et les câbles attachés du dispositif en essai doit être telle que la résistance de contact soit négligeable. Une technique de connexion possible ainsi que l'influence des résistances de contact sont données à l'Annexe B.

The voltage ratio of the voltage at the near end (U_1) of the inner circuit (generator) and the voltage at the far end (U_2) of the secondary circuit (receiver) shall be measured (U_1/U_2). The near end of the secondary circuit is short-circuited.

Depending on the electrical length of the the tested combination, the DUT and the extension tube, the result may be expressed either by the transfer impedance, the effective transfer impedance or the screening attenuation (or the coupling attenuation).

For this measurement, a matched receiver is not necessary. The likely voltage peaks at the far end are not dependant on the input impedance of the receiver, provided that it is lower than the characteristic impedance of the secondary circuit. However, it is an advantage to have a low mismatch, for example by selecting a range of tube diameters for several sizes of coaxial cables.

5 Theoretical background

See Annex A.

6 Procedure

6.1 Equipment

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and 3 and consists of:

- an apparatus of a triple coaxial form with a length sufficient to produce a superimposition of waves in narrow frequency bands which enable the envelope curve to be drawn,
- variable length of the tube, e.g. by different parts of the tube and/or by a movable tube in tube,
- a RF-tight extension tube, variable in length, which should preferably have a diameter such that the characteristic impedance to the outer tube is 50 Ω or the nominal impedance of the network analyser or generator and receiver,
- the material of the extension tube shall be non ferromagnetic and well conductive (copper or brass) and shall have a thickness ≥ 1 mm such that the transfer impedance is negligible compared to the transfer impedance of the device under test,
- a signal generator with the same characteristic impedance as the cable under test or with an impedance adapter, completed by a power amplifier if necessary for very high screening attenuation,
- a balun with sufficient unbalance attenuation,
- a receiver with a calibrated step attenuator or a network analyser, (NWA).

NOTE The generator and the receiver may be included in a network analyser.

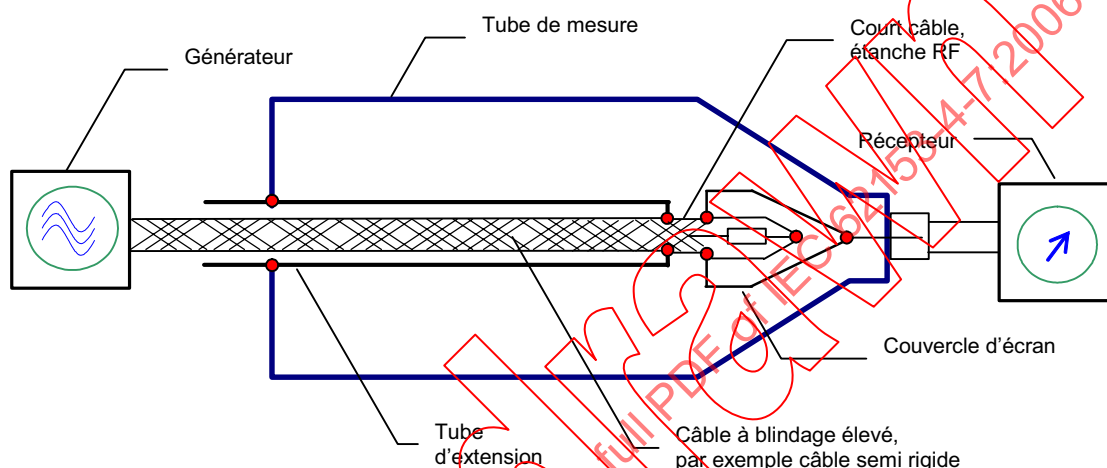
6.2 Connection between extension tube device under test

The connection between the extension tube and the attached cables of the device under test shall be such that the contact resistance is negligible. A possible connection technique as well as the influence of contact resistances is given in Annex B.

6.3 Plage dynamique ou bruit de fond

Dans l'essai de vérification, l'impédance de transfert résiduelle et le bruit de fond généré par la connexion du câble d'alimentation au tube d'extension doit être déterminée.

Le câble d'alimentation est adapté sur son impédance caractéristique et connecté à la tête d'essai. Ensuite, le tube d'extension doit être connecté au câble d'alimentation en utilisant la même technique de connexion que pendant l'essai. Le câble entre les points de connexion doit être le plus court possible (voir Figure 4).



IEC 601/06

Figure 4 – Principe de montage pour l'essai de vérification

Le rapport de tension U_1/U_2 doit être mesuré avec l'analyseur de réseau.

Le bruit de fond de la connexion du tube d'extension vers le câble d'alimentation est alors donné par:

$$a_n = 20 \times \log_{10}(U_1/U_2) \quad (8)$$

L'impédance de transfert résiduelle de la connexion du tube d'extension vers l'alimentation est donnée par:

$$Z_{Tr} = Z_1 \times \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (9)$$

6.4 Impédance du système interne

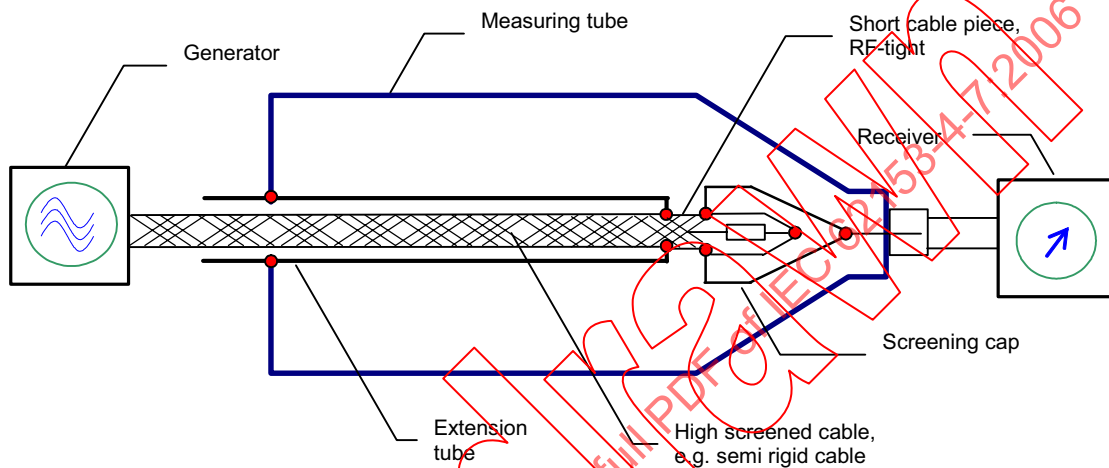
6.4.1 Généralités

Si l'impédance Z_1 du système interne (coaxial ou quasi coaxial) n'est pas connue, elle peut être déterminée par un réflectomètre dans le domaine temporel ou en utilisant la méthode suivante.

6.3 Dynamic range respectively noise floor

With the verification test, the residual transfer impedance respectively the noise floor due to the connection of the feeding cable to the extension tube shall be determined.

The feeding cable is matched with its characteristic impedance and connected to the test head. The extension tube shall then be connected to the feeding cable, using the same connection technique as during the test. The piece of cable between the connection points shall be as short as possible (see Figure 4).



IEC 601/06

Figure 4 – Principle set-up for verification test

The voltage ratio U_1/U_2 shall be measured with the NWA.

The noise floor of the connection of the extension tube to the feeding cable is then given by:

$$a_n = 20 \times \log_{10} (U_1/U_2) \quad (8)$$

The residual transfer impedance of the connection of the extension tube to the feeding is given by:

$$Z_{Tr} = Z_1 \times \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (9)$$

6.4 Impedance of the inner system

6.4.1 General

If the impedance Z_1 of the inner system (coaxial or quasi coaxial) is not known, it may be either determined with a time domain reflectometer or by using the following method.

Une extrémité de l'échantillon préparé est connectée à un analyseur de réseau, qui est étalonné pour des mesures d'impédance au niveau du plan de référence de l'interface connecteur. La fréquence d'essai doit être approximativement la fréquence à laquelle la longueur de l'échantillon est $1/8 \lambda$, où λ est la longueur d'onde.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (10)$$

où

f_{test} est la fréquence d'essai;

c est la vitesse de la lumière;

L_{sample} est la longueur d'un échantillon;

ε_{r1} est la permittivité relative résultante du diélectrique du câble.

L'échantillon est en court-circuit à l'extrémité la plus éloignée. L'impédance Z_{short} est mesurée.

L'échantillon est laissé ouvert à l'endroit où il était en court-circuit. L'impédance Z_{open} est mesurée.

Z_1 se calcule comme suit:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}} \quad (11)$$

6.4.2 Circuit d'adaptation d'impédance

6.4.2.1 Généralités

Si l'impédance du câble en essai Z_1 n'est pas égale à la résistance de sortie du générateur (généralement 50 Ω), alors le circuit d'adaptation d'impédance est nécessaire. Il doit être mis en œuvre par un circuit à deux résistances avec une résistance série R_s et une résistance parallèle R_p . La valeur des résistances et les configurations sont présentées en 6.4.2.2 et 6.4.2.3.

6.4.2.2 $Z_1 < 50 \Omega$

Si l'impédance du système interne Z_1 , et donc la résistance de charge $R_1 (=Z_1)$, est inférieure à 50 Ω , les formules ci-dessous sont utilisées:

$$R_s = 50 \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (12)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (13)$$

One end of the prepared sample is connected to a network analyser, which is calibrated for impedance measurements at the connector interface reference plane. The test frequency shall be the approximate frequency for which the length of the sample is $1/8 \lambda$, where λ is the wavelength.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (10)$$

where

f_{test} is the test frequency;

c is the velocity of light;

L_{sample} is the length of sample;

ϵ_{r1} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the cable.

The sample is short-circuited at the far end. The impedance Z_{short} is measured.

The sample is left open at the same point where it was shorted. The impedance Z_{open} is measured.

Z_1 is calculated as:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}} \quad (11)$$

6.4.2 Impedance matching circuit

6.4.2.1 General

If the impedance of the cable under test Z_1 is not equal to the generator output resistance (commonly 50Ω) then an impedance matching circuit is needed. It shall be implemented as a two resistor circuit with one series resistor, R_s and one parallel resistor R_p . The value of the resistors and the configurations are shown in 6.4.2.2 and 6.4.2.3.

6.4.2.2 $Z_1 < 50 \Omega$

If the impedance of the inner system Z_1 and subsequently the load resistor $R_1 (=Z_1)$ is less than 50Ω , the formulas below are used:

$$R_s = 50 \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (12)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (13)$$

La configuration est illustrée à la Figure 5.

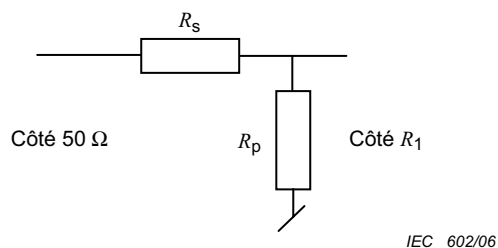


Figure 5 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 < 50 \Omega$

Le gain en tension k_m du circuit est:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad (14)$$

6.4.2.3 $Z_1 > 50 \Omega$

Si l'impédance du système interne Z_1 , et donc la résistance R_1 , est supérieure à 50Ω , les formules ci-dessous sont utilisées:

$$R_s = R_2 \sqrt{1 - \frac{50}{R_2}} \quad (15)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_2}}} \quad (16)$$

La configuration est illustrée à la Figure 6.

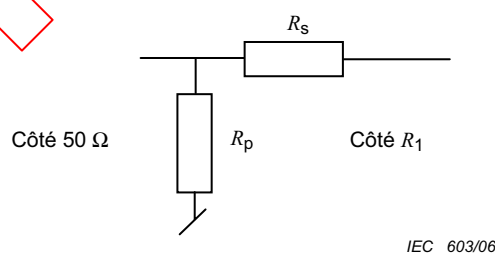


Figure 6 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 > 50 \Omega$

Le gain en tension k_m du circuit est:

$$k_m = \frac{R_2}{R_s + R_2} \quad (17)$$

The configuration is depicted in Figure 5.

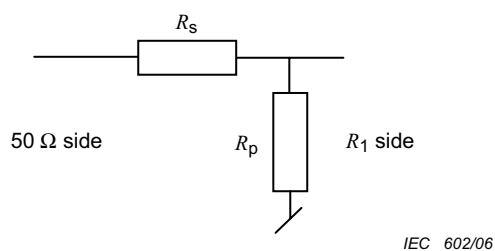


Figure 5 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$

The voltage gain k_m of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad (14)$$

6.4.2.3 $Z_1 > 50 \Omega$

If the impedance of the inner system Z_1 and subsequently R_1 is greater than 50Ω , the formulas below are used:

$$R_s = R_2 \sqrt{1 - \frac{50}{R_2}} \quad (15)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_2}}} \quad (16)$$

The configuration is depicted in Figure 6.

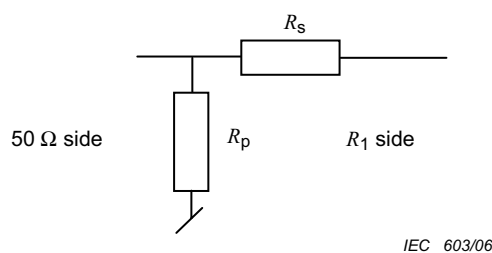


Figure 6 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$

The voltage gain k_m of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_2}{R_s + R_2} \quad (17)$$

6.5 Préparation d'échantillon

6.5.1 Dispositif coaxial

Un câble d'alimentation doit être monté sur le connecteur en essai et sa partie correspondante conformément aux spécifications du fabricant. Une extrémité doit être connectée à la tête d'essai où le câble d'alimentation est adapté à l'impédance caractéristique nominale du dispositif en essai.

L'autre extrémité doit passer à travers le tube d'extension et être connectée au générateur. Du côté du dispositif, l'écran du câble d'alimentation doit être connecté au tube d'extension avec une faible résistance de contact (voir 6.2 et l'Annexe B). Du côté du générateur, l'écran du câble d'alimentation ne doit pas être connecté au tube d'extension.

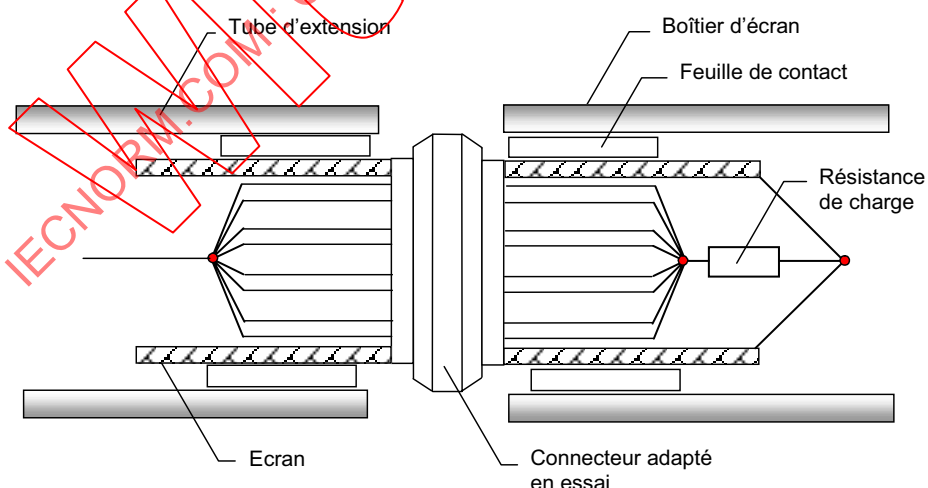
6.5.2 Dispositif symétrique ou multiconducteur

Un câble symétrique ou multiconducteur qui est généralement utilisé avec le connecteur en essai doit être monté sur le connecteur en essai et sa partie correspondante conformément aux spécifications du fabricant.

Pendant la mesure de l'impédance de transfert ou de l'affaiblissement d'écran, les câbles symétriques ou multiconducteur blindés sont traités comme un système quasi coaxial. Ainsi, au niveau des extrémités ouvertes du câble d'alimentation, tous les conducteurs de toutes les paires doivent être connectés les uns aux autres. Tous les écrans, y compris ceux des paires ou des quartes blindées individuellement, doivent être connectés les uns aux autres aux deux extrémités. Tous les écrans doivent être connectés sur toute la circonférence (voir Figures 7a et 7b).

Une extrémité doit alors être connectée à la tête d'essai où le câble d'alimentation est adapté à l'impédance caractéristique (affaiblissement d'écran) ou à un court-circuit (impédance de transfert).

Lors de la mesure de l'affaiblissement de couplage, le câble d'alimentation doit passer par un symétriseur. La paire en essai doit être adaptée par une charge symétrique/asymétrique. Les paires qui ne sont pas en essai doivent être laissées ouvertes.



IEC 604/06

Figure 7a – Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran

6.5 Sample preparation

6.5.1 Coaxial device

A feeding cable shall be mounted to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer. One end shall be connected to the test head where the feeding cable is matched with the nominal characteristic impedance of the device under test.

The other end shall be passed through the extension tube and connected to the generator. On the side of the device under the screen of the feeding cable shall be connected to the extension tube with low contact resistance (see 6.2 and Annex B). On the generator side, the screen of the feeding cable shall not be connected to the extension tube.

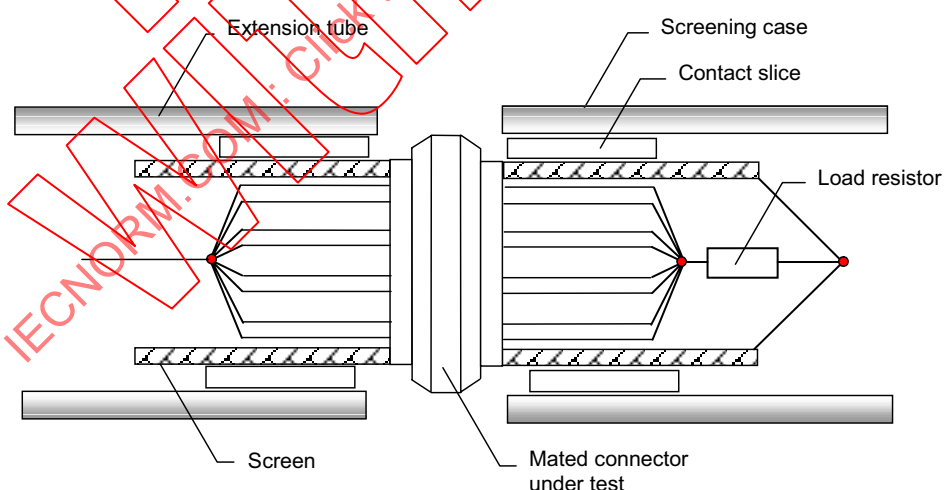
6.5.2 Balanced or multiconductor device

A balanced or multiconductor cable which is usually used with the connector under test shall be mounted each to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer.

When measuring transfer impedance or screening attenuation, screened balanced or multiconductor cables are treated as a quasi coaxial system. Therefore, at the open ends of the feeding cable, all conductors of all pairs shall be connected together. All screens, including those of individually screened pairs or quads, shall be connected together at both ends. All screens shall be connected over the whole circumference (see Figures 7a and 7b).

One end shall then be connected to the test head where the feeding cable is matched with the characteristic impedance (screening attenuation) or with a short circuit (transfer impedance).

When measuring the coupling attenuation, the feeding cable shall be fed by a balun. The pair under test shall be matched by a symmetrical/asymmetrical load. The pairs which are not under test shall be left open.



IEC 604/06

Figure 7a – Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance and screening attenuation

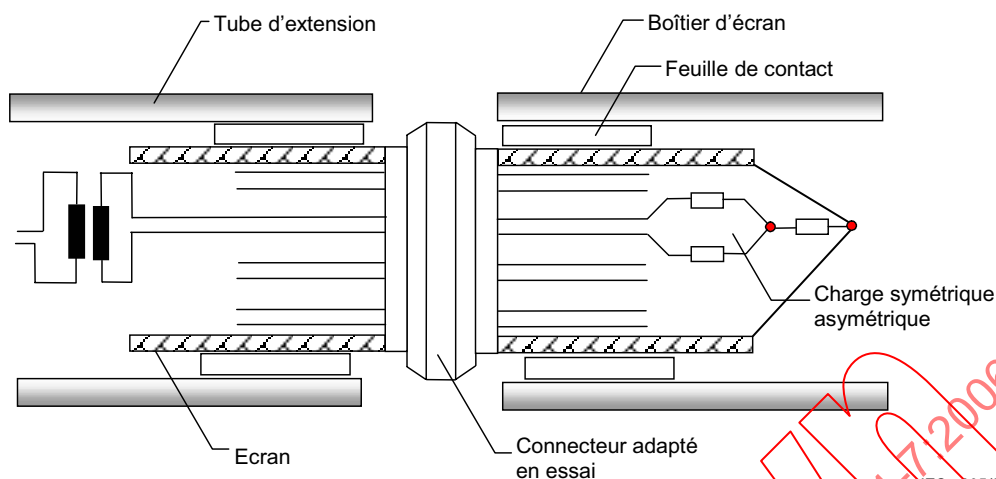


Figure 7b – Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'affaiblissement de couplage

Figure 7 – Préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs

7 Mesure

7.1 Impédance de transfert

L'affaiblissement en fonctionnement des câbles d'essai externes doit être mesuré et enregistré en fonction de la fréquence.

Le dispositif en essai avec le tube d'extension connecté doit être installé dans le tube de mesure. Le tube de mesure doit être court-circuité au tube de mesure au niveau de l'extrémité la plus proche du générateur. Le câble d'alimentation doit être connecté au générateur et la sortie du tube de mesure doit être connectée au récepteur (voir Figure 8).

L'affaiblissement en fonctionnement A_B de l'entrée vers la sortie du montage d'essai est mesuré.

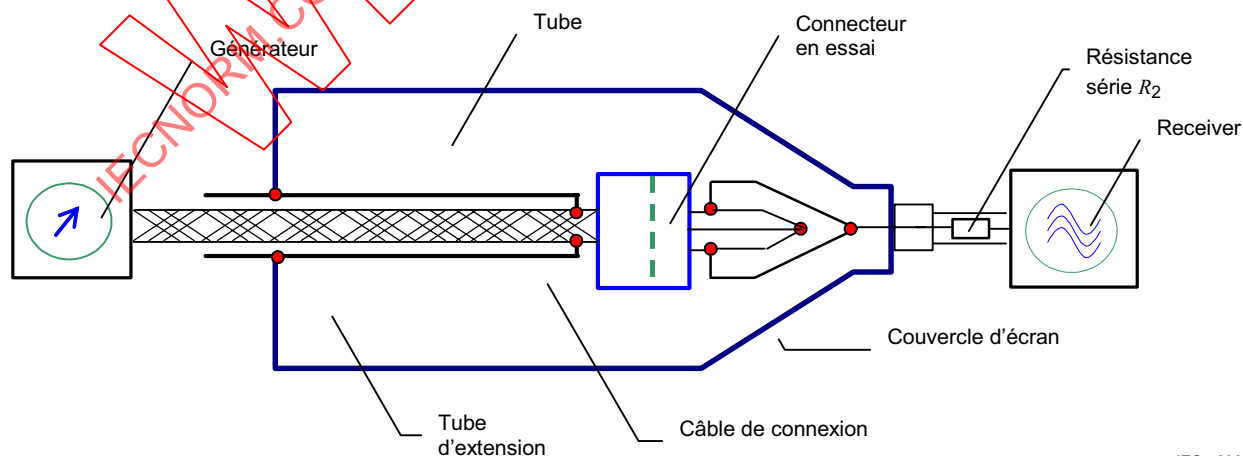


Figure 8 – Mesure de l'impédance de transfert avec des tubes concentriques

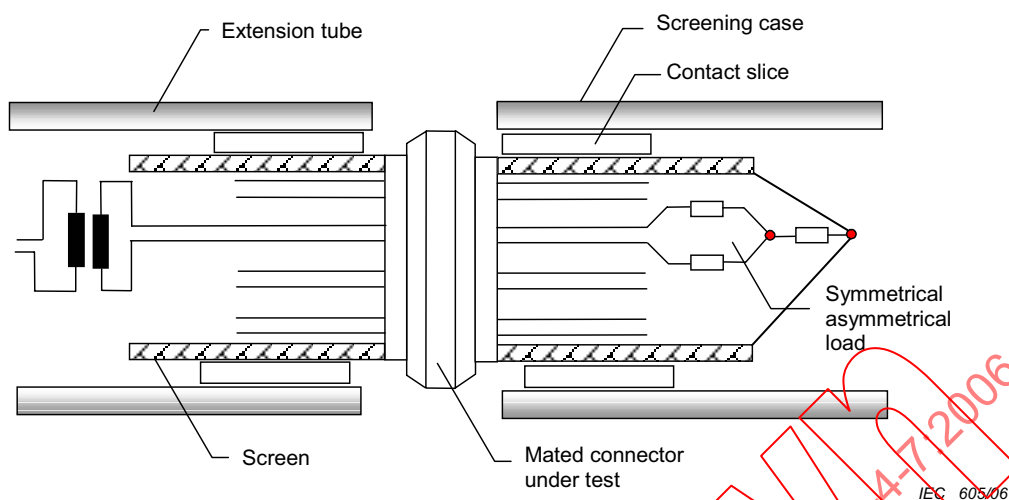


Figure 7b – Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for coupling attenuation

Figure 7 – Preparation of balanced or multiconductor connectors

7 Measurement

7.1 Transfer impedance

The operational attenuation of the external test leads shall be measured and recorded as a function of frequency.

The DUT with the connected extension tube shall be installed in the measuring tube. The extension tube shall be short circuited to the measuring tube at the near end of the generator. The feeding cable shall be connected to the generator and the output of the measuring tube shall be connected to the receiver (see Figure 8).

The operational attenuation A_B from the input to the output of the test set-up is measured.

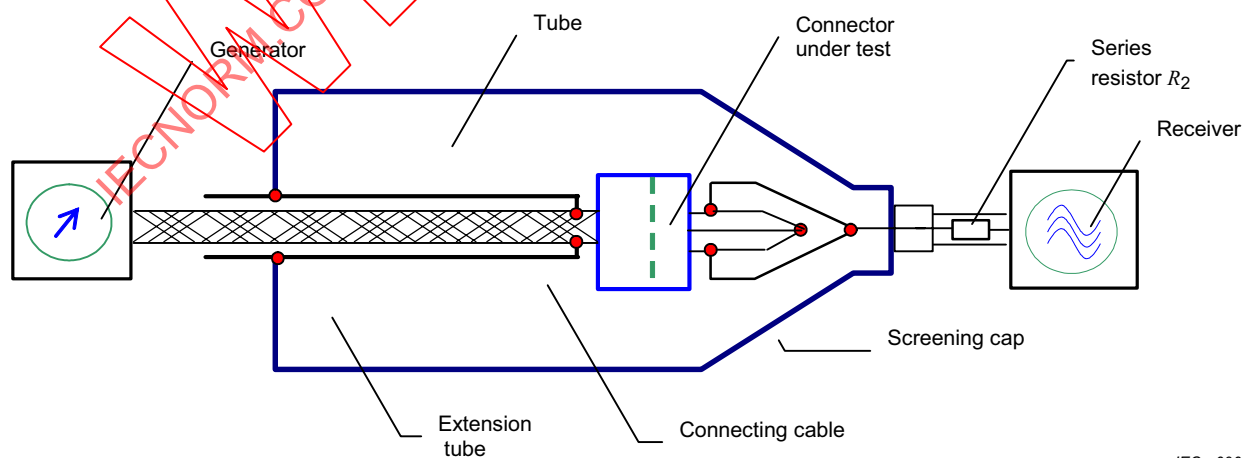


Figure 8 – Measuring the transfer impedance with tube in tube

7.2 Affaiblissement de blindage

L'affaiblissement en fonctionnement des câbles d'essai externes doit être mesuré et enregistré en fonction de la fréquence.

Le dispositif en essai avec le tube d'extension connecté doit être installé dans le tube de mesure. Le tube de mesure doit être court-circuité au tube de mesure au niveau de l'extrémité la plus proche du générateur. Le câble d'alimentation doit être connecté au générateur (via un dispositif d'adaptation d'impédance si nécessaire) et la sortie du tube de mesure doit être connectée au récepteur.

L'affaiblissement en fonctionnement A_B de l'entrée vers la sortie du montage d'essai est mesuré (voir Figure 9).

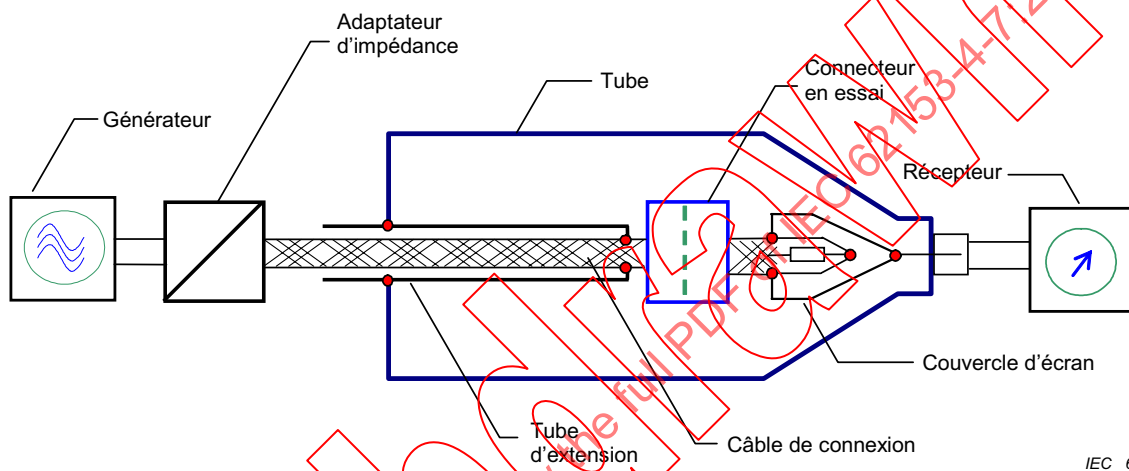


Figure 9 – Mesure de l'affaiblissement d'écran avec des tubes concentriques

7.3 Affaiblissement de couplage

L'affaiblissement en fonctionnement des câbles d'essai externes doit être mesuré et enregistré en fonction de la fréquence.

Le dispositif en essai avec le tube d'extension connecté doit être installé dans le tube de mesure. Le tube de mesure doit être court-circuité au tube de mesure au niveau de l'extrémité la plus proche du générateur. Le câble d'alimentation doit être connecté au générateur via un symétriseur, avec l'impédance caractéristique du dispositif en essai sur le côté symétrique. La sortie du tube de mesure doit être connectée au récepteur.

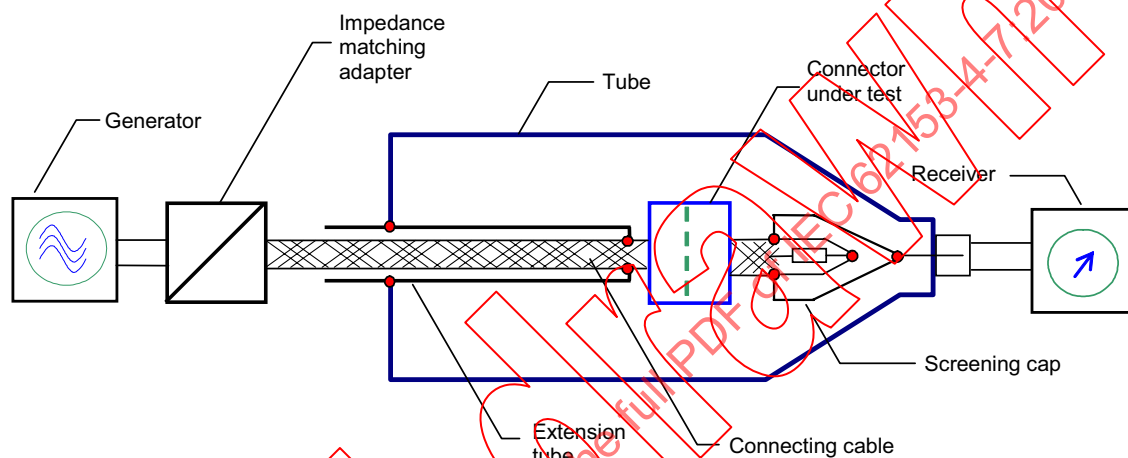
L'affaiblissement en fonctionnement A_B de l'entrée vers la sortie du montage d'essai est mesuré (voir Figure 10).

7.2 Screening attenuation

The operational attenuation of the external test leads shall be measured and recorded as a function of frequency.

The DUT with the connected extension tube shall be installed in the measuring tube. The extension tube shall be short circuited to the measuring tube at the near end of the generator. The feeding cable shall be connected to the generator (via an impedance matching device if necessary) and the output of the measuring tube shall be connected to the receiver.

The operational attenuation A_B from the input to the output of the test set-up is measured (see Figure 9).



IEC 607/06

Figure 9 – Measuring the screening attenuation with tube in tube

7.3 Coupling attenuation

The operational attenuation of the external test leads shall be measured and recorded as a function of frequency.

The DUT with the connected extension tube shall be installed in the measuring tube. The extension tube shall be short circuited to the measuring tube at the near end of the generator. The feeding cable shall be connected to the generator via a balun, with the characteristic impedance of the device under test at the balanced side. The output of the measuring tube shall be connected to the receiver.

The operational attenuation A_B from the input to the output of the test setup is measured (see Figure 10).

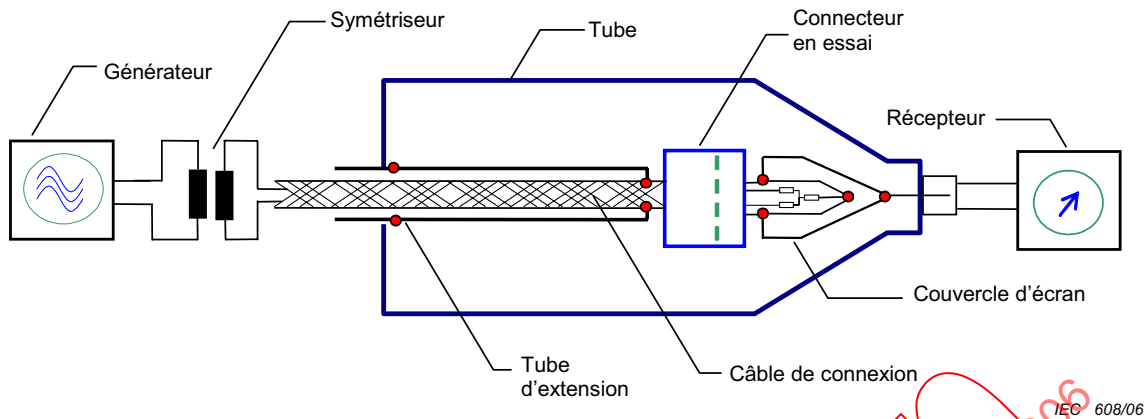


Figure 10 – Mesure de l'affaiblissement de couplage avec des tubes concentriques

Toutes les paires de dispositif en essai doivent être mesurées.

8 Expression des résultats

8.1 Impédance de transfert et impédance de transfert efficace

$$Z_{TE} = Z_1 \times \left| \frac{U_2}{U_1} \right| = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times 10^{\frac{-A_B}{20}} \quad (18)$$

où

Z_1 et Z_2 sont les impédances des circuits primaire et secondaire.

A basse fréquence, l'impédance de couplage capacitif est négligeable et l'impédance de transfert efficace devient l'impédance de transfert.

NOTE Contrairement à la mesure de l'impédance de transfert des écrans de câble, l'impédance de transfert du connecteur n'est pas liée à la longueur.

8.2 Affaiblissement d'écran

L'affaiblissement d'écran a_S doit être calculé avec la valeur normalisée $Z_S = 150 \Omega$:

$$\begin{aligned} a_S &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \times \frac{Z_S}{Z_1} \right| \\ &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2,max}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \\ &= A_{B,min} - A_{Z,min} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \end{aligned} \quad (19)$$

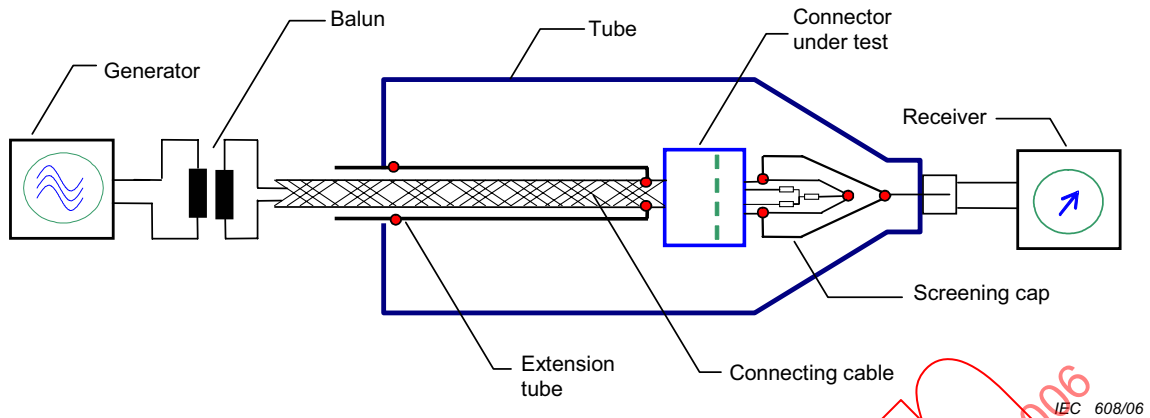


Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube

All pairs of the device under test shall be measured.

8 Expression of results

8.1 Transfer impedance and effective transfer impedance

$$Z_{TE} = Z_1 \times \left| \frac{U_2}{U_1} \right| = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times 10^{\frac{A_B}{20}} \quad (18)$$

where

Z_1 and Z_2 are the impedances of the primary and secondary circuits.

At low frequencies the capacitive coupling impedance is negligible and the effective transfer impedance becomes the transfer impedance.

NOTE Contrary to the measurement of the transfer impedance of cable screens, the transfer impedance of the connector is not related to length.

8.2 Screening attenuation

The screening attenuation a_S has to be calculated with the normalised value $Z_S = 150 \Omega$:

$$\begin{aligned} a_S &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \times \frac{Z_S}{Z_1} \right| \\ &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2,max}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \\ &= A_{B,min} - A_{Z,min} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \end{aligned} \quad (19)$$

où

- a_S est l'affaiblissement d'écran lié à une impédance de 150Ω de circuit externe (rayonnant) en dB;
- $A_{B,min}$ est l'affaiblissement en fonctionnement enregistré comme la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées en dB;
- A_Z est l'affaiblissement en fonctionnement supplémentaire d'un éventuel adaptateur inséré, s'il n'a pas été éliminé par exemple par l'étalonnage, en dB;
- U_1 est la tension d'entrée du circuit primaire formé par le câble d'alimentation et le dispositif en essai, en V;
- U_2 est la tension de sortie du commutateur secondaire, en V;
- Z_1 est l'impédance calculée du câble d'alimentation et du dispositif en essai, en Ω ;
- P_1 est la puissance d'alimentation;
- $P_{r,max}$ est la puissance de crête maximale irradiée dans l'environnement normalisé, en W;
- $P_{2,max}$ est la valeur maximale périodique de la puissance couplée $P_{2,max}$ dans le circuit externe;
- Z_S est l'impédance normalisée de l'environnement, en Ω (égal à 150Ω).

NOTE Pour les fréquences inférieures à la limite de la longueur du couplage électriquement long, la mesure sera similaire à cette pour l'impédance surfacique de transfert.

8.3 Affaiblissement de couplage

L'affaiblissement du symétriseur doit être soustrait des résultats de mesure.

L'affaiblissement de couplage a_C doit être calculé avec la valeur normalisée $Z_S = 150 \Omega$:

$$\begin{aligned}
 a_C &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \times \frac{Z_S}{Z_1} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2,max}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \\
 &= A_{B,min} - A_{Z,min} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right|
 \end{aligned} \tag{20}$$

où

- a_C est l'affaiblissement de couplage lié à une impédance de 150Ω de circuit externe (rayonnant) en dB;
- $A_{B,min}$ est l'affaiblissement en fonctionnement enregistré comme la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées en dB;
- A_Z est l'affaiblissement en fonctionnement supplémentaire d'un éventuel adaptateur inséré, s'il n'a pas été éliminé par exemple par l'étalonnage, en dB;
- U_1 est la tension d'entrée du circuit primaire formé par le câble d'alimentation et le dispositif en essai, en V;
- U_2 est la tension de sortie du commutateur secondaire, en V;
- Z_1 est l'impédance calculée du câble d'alimentation et du dispositif en essai, en Ω .

where

- a_S is the screening attenuation related to an outer circuit (radiating) impedance of 150 Ω in dB;
- $A_{B,min}$ is the operational attenuation recorded as the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- A_Z is the additional operational attenuation of an eventually inserted adapter, if not otherwise eliminated for example by the calibration, in dB;
- U_1 is the input voltage of the primary circuit formed by the feeding cable and the DUT, in V;
- U_2 is the output voltage of the secondary circuit in V;
- Z_1 is the characteristic impedance of the feeding cable and the DUT, in Ω ;
- P_1 is the feeding power ;
- $P_{r, max}$ is the radiated maximum peak power in the standardized surrounding in W;
- $P_{2, max}$ are the periodic maximum values of the coupled power $P_{2,max}$ in the outer circuit;
- Z_S is the standardized impedance of the surrounding in Ω (equals 150 Ω).

NOTE At frequencies lower than the limit of the electrically long coupling length, the measurement will be similar to that for surface transfer impedance.

8.3 Coupling attenuation

The attenuation of the balun shall be subtracted from the measuring results.

The coupling attenuation a_C shall be calculated with the normalised value $Z_S = 150 \Omega$:

$$\begin{aligned}
 a_C &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \times \frac{Z_S}{Z_1} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2,max}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right| \\
 &= A_{B,min} - A_{Z,min} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{150 \Omega}{Z_1} \right|
 \end{aligned} \tag{20}$$

where

- a_C is the coupling attenuation related to an outer circuit (radiating) impedance of 150 Ω in dB;
- $A_{B,min}$ is the operational attenuation recorded as the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- A_Z is the additional operational attenuation of an eventually inserted adapter, if not otherwise eliminated e.g. by the calibration, in dB;
- U_1 is the input voltage of the primary circuit formed by the feeding cable and the DUT, in V;
- U_2 is the output voltage of the secondary circuit in V;
- Z_1 is the characteristic impedance of the feeding cable and the DUT, in Ω .

8.4 Exigences

Les résultats de l'impédance de transfert et/ou de l'affaiblissement d'écran ou de l'affaiblissement de couplage doivent être conformes à la valeur indiquée dans les spécifications de câble appropriées.

Une mesure typique d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m est donnée à la Figure 11.

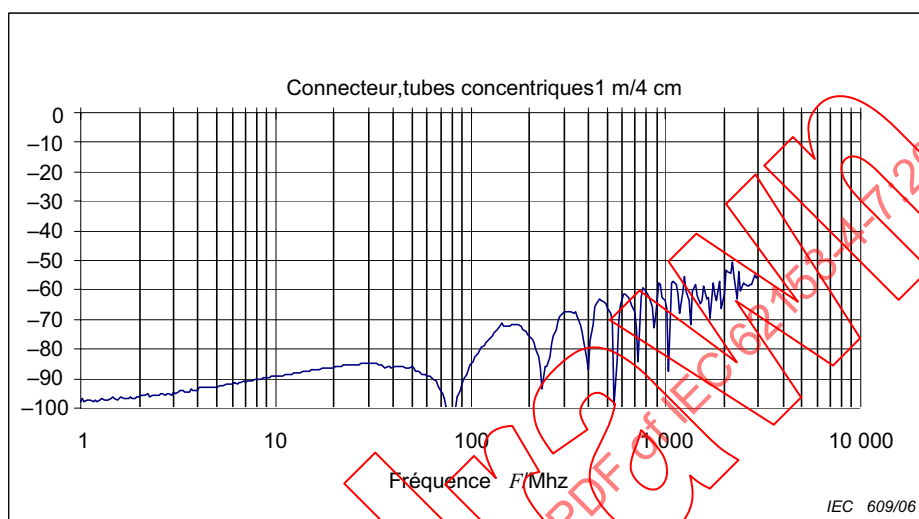


Figure 11 – Mesure typique d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m

8.4 Requirement

The results of the transfer impedance and/or the screening attenuation or the coupling attenuation shall comply with the value indicated in the relevant cable specification.

A typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube is given in Figure 11.

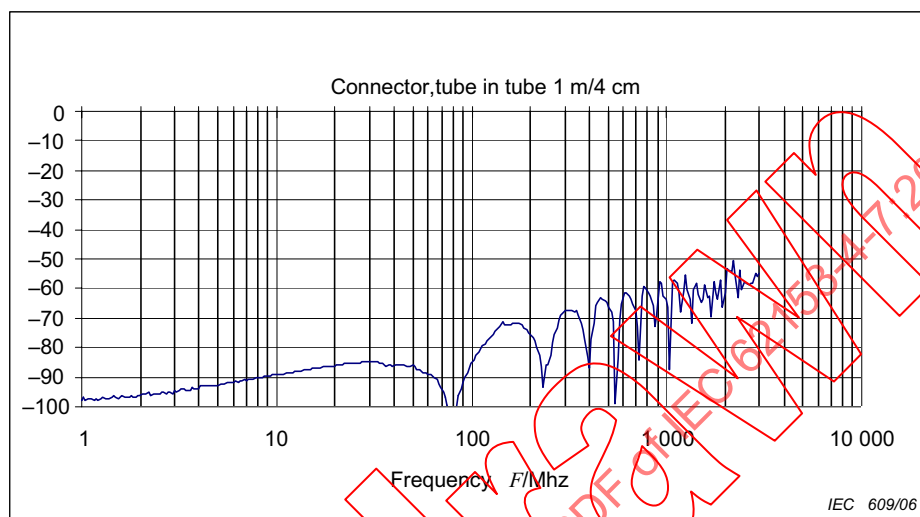


Figure 11 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube

Annexe A (informative)

Mesures de l'efficacité du blindage des connecteurs et des ensembles de câbles

A.1 Généralités

En raison de l'utilisation accrue de tous les types d'équipements électriques et électroniques, la pollution électromagnétique augmente. Pour réduire cette pollution électromagnétique, tous les composants d'un système, et plus particulièrement les câbles de connexion (ensembles) doivent être blindés. Il est évident que des procédures de mesures normalisées sont nécessaires pour comparer l'efficacité du blindage de différentes conceptions d'écrans. Les paramètres élémentaires du blindage sont l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écran a_S ou l'affaiblissement de couplage a_C . La méthode triaxiale et la méthode d'injection en ligne permettent d'obtenir l'impédance de transfert Z_T des câbles, des connecteurs et des ensembles de câbles. Toutefois, il n'existe pas de méthode simple et économique pour mesurer l'affaiblissement d'écran a_S ou l'affaiblissement de couplage a_C des connecteurs et des ensembles de câbles.

Une nouvelle méthode qui comble cette lacune est décrite ci-après. Elle est basée sur la méthode d'essai d'affaiblissement d'écran blindé récemment introduit (triaxial, long) pour la mesure de l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage de câbles [1][2]³.

A.2 Principes physiques

A.2.1 Équation générale de couplage

Pour mesurer le couplage, il convient d'utiliser le concept d'affaiblissement en fonctionnement avec la racine carrée des ondes de puissance, comme dans la définition des paramètres de diffusion [3][4]. La fonction de transfert de couplage générale est alors définie comme suit:

$$T_{n,f} = \frac{U_{2n,f} \sqrt{Z_2}}{U_{1,f} \sqrt{Z_1}} = \frac{\sqrt{P_{2n,f}}}{\sqrt{P_0}} \quad (\text{A.1})$$

L'influence électromagnétique entre l'échantillon en essai et son entourage est en principe la diaphonie entre deux lignes et est causée par un couplage capacitif et magnétique. Au niveau de l'extrémité la plus proche, le couplage capacitif et le couplage magnétique s'ajoutent alors qu'ils se soustraient au niveau de l'extrémité la plus éloignée [4][5]. Le couplage le long de la longueur de l'échantillon est obtenu en intégrant la distribution de couplage infinitésimale le long de l'échantillon avec la phase correcte. L'effet de phase, lors de la somme des couplages infinitésimaux le long de la ligne est exprimé par la fonction somme S [4]. Lorsque l'affaiblissement des échantillons est négligé, S peut s'exprimer par l'équation suivante, où $\beta_{1,2}$ sont les vitesses de phase du circuit primaire et du circuit secondaire respectivement et l est la longueur de couplage. Les indices n et f représentent respectivement l'extrémité la plus proche et l'extrémité la plus éloignée.

Le circuit équivalent pour deux lignes couplées est donné à la Figure A.1.

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Annex A (informative)

Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies

A.1 General

Due to the increasing use of all kind of electric or electronic equipment, electromagnetic pollution is on the increase. To reduce this electromagnetic pollution, all components of a system, especially the connecting cables (assemblies) shall be screened. It is obvious, that one needs standardised measuring procedures to compare the screening effectiveness of different screen designs. The basic screening parameters are the transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_S or coupling attenuation a_C . Either the triaxial or the line injection method can be used to obtain the transfer impedance Z_T of cables, connectors and cable assemblies. However for the measurement of the screening a_S or coupling a_C attenuation of connectors and cable assemblies an easy and cost effective method does not exist.

The following new method, which fills this gap, is described hereafter. It is based on the recently introduced shielded screening attenuation (long triaxial) test method for the measurement of the screening or coupling attenuation of cables [1][2]³.

A.2 Physical basics

A.2.1 General coupling equation

For the measurement of the coupling, it is expedient to use the concept of operational attenuation with the square root of power waves, as in the definition of scattering parameters [3][4]. The general coupling transfer function is then defined as:

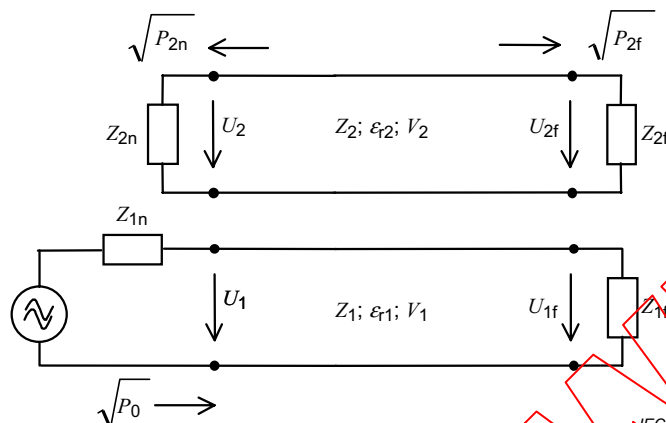
$$T_{n,f} = \frac{U_{2n,f} / \sqrt{Z_2}}{U_1 / \sqrt{Z_1}} = \frac{\sqrt{P_{2n,f}}}{\sqrt{P_0}} \quad (\text{A.1})$$

The electromagnetic influence between the sample under test and the surrounding is in principle the crosstalk between two lines and is caused by capacitive and magnetic coupling. At the near end, the magnetic and capacitive coupling add whereas at the far end they subtract [4][5]. The coupling along the sample length is obtained by integrating the infinitesimal coupling distribution along the sample with the correct phase. The phase effect, when summing up the infinitesimal couplings along the line is expressed by the summing function S [4]. When the sample attenuation is neglected, than S could be expressed by the following equation, where $\beta_{1,2}$ are the phase velocities of the primary respectively the secondary circuit and l the coupling length. The indices n and f denote the near respectively the far end.

The equivalent circuit for two coupled lines is given in Figure A.1.

³ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

$$S_{n,f}(lf) = \frac{\sin[(\beta_2 \pm \beta_1) \times l/2]}{(\beta_2 \pm \beta_1) \times l/2} \exp(-j(\beta_2 + \beta_1) \times l/2) \quad (\text{A.2})$$



$\sqrt{P_0}$	Racine carrée de la puissance d'alimentation
$\sqrt{P_{2n}}$	Racine carrée de la puissance couplée à l'extrémité proche
$\sqrt{P_{2f}}$	Racine carrée de la puissance couplée à l'extrémité lointaine
Z_{nm}	Résistances d'adaptation, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire, n = extrémité proche, f = extrémité lointaine
Z_n	Impédance caractéristique, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire
ϵ_{rn}	Constante diélectrique, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire
v_n	Vitesse de propagation, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire

Figure A.1 – Circuit équivalent des lignes de transmission couplées

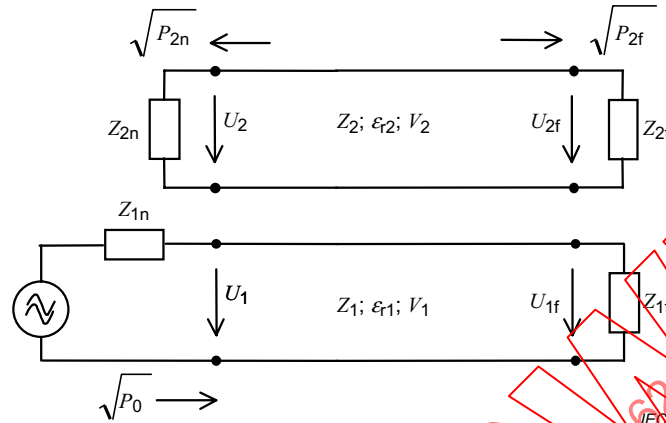
La Figure A.2 montre la fonction somme qui est en principe une fonction de type $\sin(x)/x$. Pour les hautes fréquences, la valeur asymptotique devient:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \times l} \quad (\text{A.3})$$

Et pour les basses fréquences, la fonction somme devient:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1 \quad (\text{A.4})$$

$$S_{n,f}(lf) = \frac{\sin[(\beta_2 \pm \beta_1) \times l/2]}{(\beta_2 \pm \beta_1) \times l/2} \exp(-j(\beta_2 + \beta_1) \times l/2) \quad (\text{A.2})$$



$$\sqrt{P_0}$$

Square root of the feeding power

$$\sqrt{P_{2n}}$$

Square root of the coupled power, near end

$$\sqrt{P_{2f}}$$

Square root of the coupled power, far end

$$Z_{nm}$$

Matching resistors, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit,
n = near end, f = far end

$$Z_n$$

Characteristic impedance, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit

$$\epsilon_n$$

Dielectric constant, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit

$$v_n$$

Velocity of propagation, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit

Figure A.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines

Figure A.2 shows the summing function which is in principle a $\sin(x)/x$ function. For high frequencies, the asymptotic value becomes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \times l} \quad (\text{A.3})$$

And for low frequencies the summing function be-comes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1 \quad (\text{A.4})$$

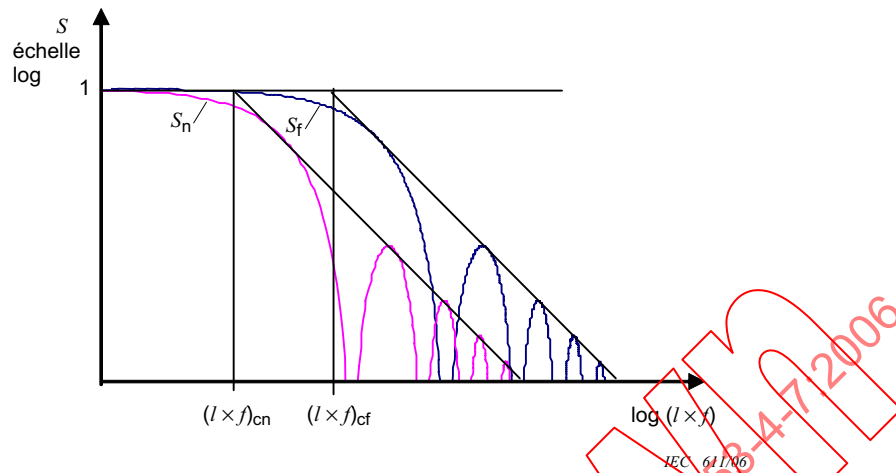


Figure A.2 – Fonction somme S

Le point d'intersection entre les valeurs asymptotiques pour les hautes et les basses fréquences est ce que l'on appelle la fréquence de coupure f_c . Cette fréquence donne la condition pour les échantillons électriquement longs:

$$f_{c,n} \times l \geq \frac{c}{\pi \times \left| \sqrt{e_{r1}} \pm \sqrt{e_{r2}} \right|} \quad (\text{A.5})$$

où

e_{r1} est la permittivité diélectrique relative du système interne;

e_{r2} est la permittivité diélectrique relative du système externe;

l est la longueur de l'écran en essai.

A.2.2 Fonction de transfert de couplage

A.2.2.1 Écrans homogènes

Les quantités de blindage primaire d'un écran sont l'impédance surfacique de transfert Z_T et l'impédance de couplage capacitif Z_F ou l'impédance de transfert efficace Z_{TE} . Pour les écrans homogènes comme pour des connecteurs ou des câbles, on suppose qu'ils sont constants sur la longueur. L'intégration est alors simple à résoudre. Le couplage entre l'échantillon et le voisinage peut être exprimé par la fonction de transfert de couplage suivante. Pour les lignes adaptées, c'est [3][4]:

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \times \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \times \frac{l}{2} \times S_n \quad (\text{A.6})$$

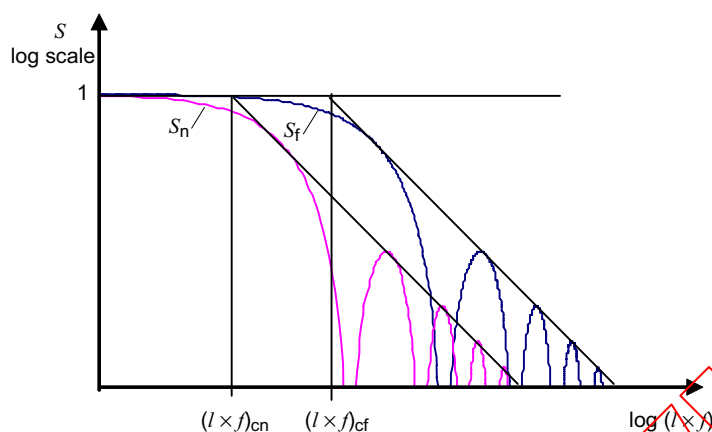


Figure A.2 – Summing function S

The point of intersection between the asymptotic values for low and high frequencies is the so called cut-off frequency f_c . This frequency gives the condition for electrical long samples:

$$f_{c,n} \times l \geq \frac{c}{\pi \times |\sqrt{e_{r1}} \pm \sqrt{e_{r2}}|} \quad (\text{A.5})$$

where

e_{r1} is the relative dielectric permittivity of the inner system;

e_{r2} is the relative dielectric permittivity of the outer system;

l is the cable length.

A.2.2 Coupling transfer function

A.2.2.1 Homogenous screens

The primary screening quantities of a screen are the surface transfer impedance Z_T and the capacitive coupling impedance Z_F or the effective transfer impedance Z_{TE} . For homogeneous screens such as for connectors or cables, they can be assumed to be constant along the length. The integration could then be easily solved. The coupling between the sample and the surrounding could be expressed by the following coupling transfer function. For matched lines it is [3][4]:

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \times \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \times \frac{l}{2} \times S_n \quad (\text{A.6})$$

Pour les basses fréquences, lorsque $S = 1$, la fonction de transfert de couplage correspond au comportement en fréquence de l'impédance surfacique de transfert et de l'impédance de couplage capacitif. Après une augmentation à 20 dB par décade, la fonction de transfert de couplage présente différentes fréquences de coupure $f_{cn,f}$ pour l'extrémité la plus proche et l'extrémité la plus éloignée. Au-delà de ces fréquences de coupure, les échantillons sont considérés électriquement longs.

La fonction de transfert de couplage calculée d'un câble coaxial est donnée à la Figure A.3. Le schéma de principe du montage pour la procédure d'essai triaxial est donnée à la Figure A.4

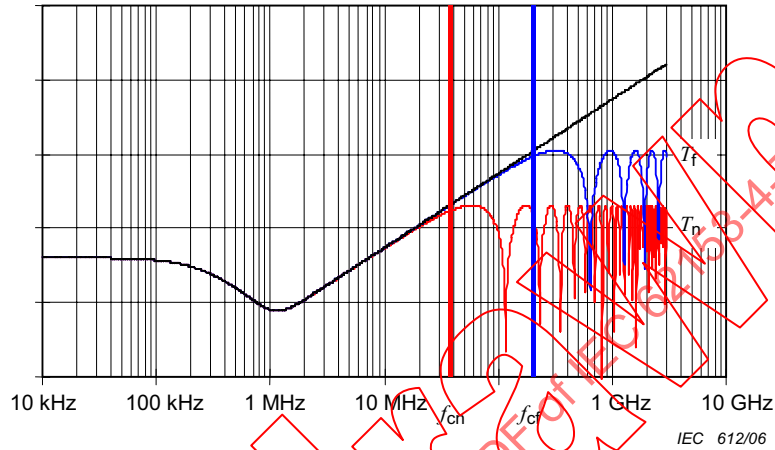


Figure A.3 – Fonction de transfert de couplage calculée
($l = 1$ m; $\epsilon_{r1} = 2,3$; $\epsilon_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)

En dessous de la fréquence de coupure, l'impédance surfacique de transfert Z_T est la mesure de l'efficacité du blindage. La valeur de l'impédance de transfert Z_T augmente avec la longueur de l'échantillon.

Au-delà des fréquences de coupure dans la gamme de propagation des ondes, ou dans la gamme où les échantillons sont électriquement longs, l'affaiblissement d'écran a_S est le paramètre pour l'efficacité du blindage. L'affaiblissement d'écran dépend de la longueur.

A.2.2.2 Écrans des ensembles de câbles

Les ensembles de câbles sont composés du câble lui-même et d'un connecteur à chaque extrémité. Outre le couplage des composants, il convient que le couplage de la transition entre un câble et un connecteur soit pris en compte. Le montage d'un bon connecteur sur un bon câble ne conduit pas automatiquement à un bon câble assemblé, puisque le raccordement entre le câble et le connecteur peut être de moins bonne qualité.

Chaque partie de l'ensemble a un couplage différent et il convient d'intégrer par section le long de l'échantillon, c'est-à-dire une section pour chaque composant (connecteur A, transition, câble, transition, connecteur B). Dans une première approche, on peut supposer que la vitesse est la même dans chaque section. La fonction de transfert de couplage pour des lignes adaptées est alors exprimée comme suit:

$$T_n = \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \times \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} + Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \times Z_2}} \times e^{-\left(\gamma_1 + \gamma_2\right) \times \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \times \left(1 - e^{-\left(\gamma_1 + \gamma_2\right) \times L_i}\right) \right] \quad (A.7)$$

For low frequencies, when $S = 1$, the coupling transfer function corresponds to the frequency behaviour of the surface transfer impedance and capacitive coupling impedance. After a rise with 20 dB per decade, the coupling transfer function shows different cut-off frequencies $f_{cn,f}$ for the near and far end. Above these cut-off frequencies, the samples are considered as electrically long.

The calculated coupling transfer function of a coaxial cable is given in Figure A.3. The principle set-up of the triaxial test procedure is given in Figure A.4.

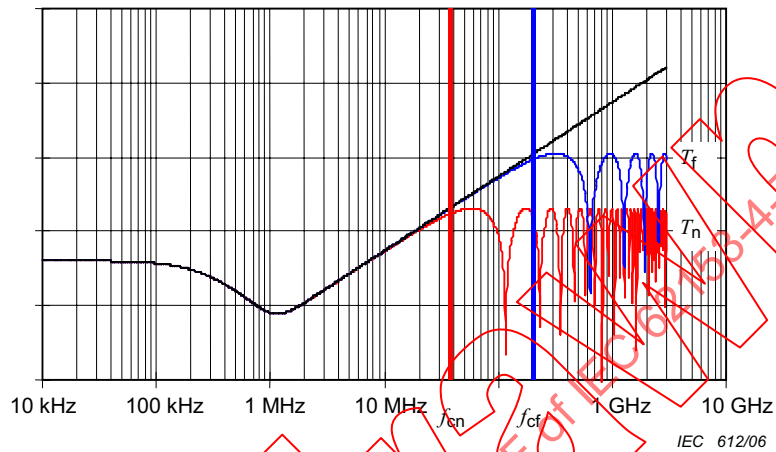


Figure A.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1$ m; $\epsilon_{r1} = 2,3$; $\epsilon_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)

Below the cut-off frequencies, the surface transfer impedance Z_T is the measure of the screening effectiveness. The value of the transfer impedance Z_T increases with the sample length.

Above the cut-off frequencies in the range of wave propagation, respectively in the range where the samples are electrically long, the screening attenuation a_S is the parameter for the screening effectiveness. The screening attenuation is a length independent quantity.

A.2.2.2 Cable assembly screens

Cable assemblies are composed by the cable itself and a connector at each end. In addition to the coupling of the components itself, the coupling of the transition between cable and connector also should be taken into account. Mounting a good connector to a good cable will not automatically lead to a good assembly because the connection between the cable and the connector may be worse.

Each part of it has a different coupling, thus one has to integrate in sections along the sample, i.e. one section for each component (connector A, transition, cable, transition, connector B). In a first approach the velocity in each section could be assumed to be equal. The coupling transfer function for matched lines is then expressed by:

$$T_n = \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \times \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} + Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \times Z_2}} \times e^{-\left(\gamma_1 + \gamma_2\right) \times \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \times \left(1 - e^{-\left(\gamma_1 + \gamma_2\right) \times L_i}\right) \right] \quad (\text{A.7})$$

$$T_f = \frac{e^{-\gamma_2 L_c}}{\gamma_1 - \gamma_2} \times \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} - Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \times Z_2}} \times e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \times \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \times \left(1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \times L_i} \right) \right] \quad (\text{A.8})$$

où

- $\gamma_{1,2}$ est la constante complexe de propagation d'onde du circuit interne et du circuit externe respectivement;
- L_c est la longueur de couplage totale (somme des longueurs des segments);
- L_i est la longueur du segment i ;
- n est le nombre de segments (pour les ensembles de câbles, 3);
- $T_{n,f}$ est la fonction de transfert de couplage au niveau de l'extrémité la plus proche, respectivement de l'extrémité la plus éloignée;
- $Z_{1,2}$ est l'impédance caractéristique du circuit interne, respectivement du circuit externe;
- Z_F est l'impédance de couplage capacitif;
- Z_T est l'impédance surfacique de transfert;
- γ est la constante de propagation
 $= (\alpha + j\beta)$, où α est la constante d'affaiblissement et β est la constante de phase.

A.2.2.3 Couplage dans le montage triaxial

Les fonctions de transfert de couplage mentionnées ci-dessus sont valides si le circuit primaire et le circuit secondaire sont adaptés. Toutefois, dans le montage triaxial, le système secondaire (circuit externe) n'est pas adapté (se reporter également à la section suivante). Au niveau de l'extrémité la plus proche, il y a un court-circuit entre l'écran de l'échantillon. Au niveau de l'extrémité la plus éloignée, l'impédance du circuit externe et l'impédance d'entrée du récepteur ne sont pas adaptées, ce qui donne le coefficient de réflexion $r_{2,f}$. Dans ce cas, la fonction de transfert de couplage résultante (au niveau de l'extrémité du récepteur) est donnée par:

$$T^* = \left(T_f - T_n \times e^{-\gamma_2 L_c} \right) \times \frac{1 + r_{2,f}}{1 + r_{2,f} \times e^{-2\gamma_2 L_c}} \quad (\text{A.9})$$

A.3 Montage d'essai triaxial

A.3.1 Généralités

Le montage d'essai triaxial est une méthode classique pour mesurer l'impédance de transfert qui a été récemment étendue à la mesure de l'affaiblissement d'écran des écrans de câble [1]. Le montage triaxial est décrit dans la CEI 61196-1 et l'EN 50289-1-6 et est constitué d'un tube en laiton ou en aluminium dont le diamètre intérieur vaut environ 40 mm.

$$T_f = \frac{e^{-\gamma_2 L_c}}{\gamma_1 - \gamma_2} \times \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} - Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \times Z_2}} \times e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \times \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \times \left(1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \times L_i} \right) \right] \quad (\text{A.8})$$

where

- $\gamma_{1,2}$ is the complex wave propagation constant of inner, respectively outer circuit;
- L_c is the whole coupling length (sum of the segment lengths);
- L_i is the length of segment i ;
- n is the number of segments (for cable assemblies, 3);
- $T_{n,f}$ is the coupling transfer function at the near respectively far end;
- $Z_{1,2}$ is the characteristic impedance of inner, respectively outer circuit;
- Z_F is the capacitive coupling impedance;
- Z_T is the surface transfer impedance;
- γ is the propagation constant
= ($\alpha + j\beta$), where α is the attenuation constant and β is the phase constant.

A.2.2.3 Coupling in the triaxial set-up

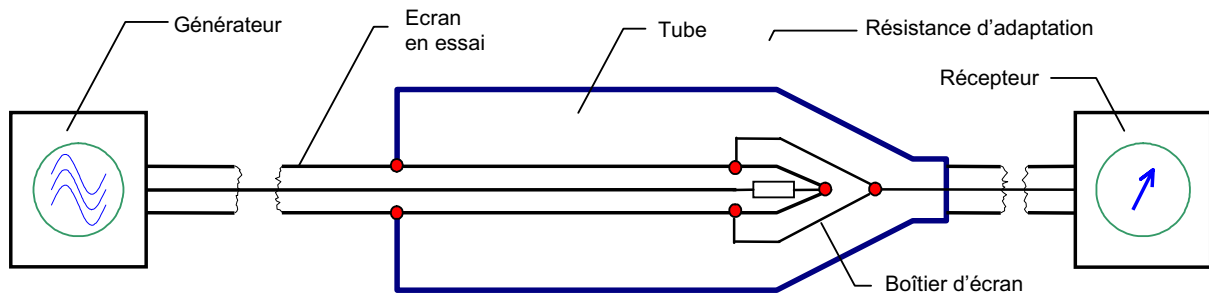
The above-mentioned coupling transfer functions are valid if the primary and secondary circuit are matched. However, in the triaxial set-up, the secondary system (outer circuit) is mismatched (see also the following section). At the near end, one has the short circuit between the sample screen. At the far end, one has the mismatch between the impedance of the outer circuit and the receiver input impedance resulting in the reflection coefficient $r_{2,f}$. In this case, the resulting coupling transfer function (at the receiver end) is obtained by:

$$T^* = \left(T_f - T_n \times e^{-\gamma_2 L_c} \right) \times \frac{1 + r_{2,f}}{1 + r_{2,f} \times e^{-2\gamma_2 L_c}} \quad (\text{A.9})$$

A.3 Triaxial test set-up

A.3.1 General

The triaxial test set-up is one of the classical methods to measure the transfer impedance and has been recently extended for the measurement of the screening attenuation of cable screens [1]. The triaxial set-up is described in IEC 61196-1 and EN 50289-1-6, and consists of a tube of brass or aluminium with an inner diameter of about 40 mm.



IEC 613/06

Figure A.4 – Montage triaxial pour la mesure de l'affaiblissement d'écran a_s et l'impédance de transfert Z_T

Pour la mesure de l'impédance de transfert (longueur de couplage électriquement courte) la longueur du tube est comprise entre 0,5 m et 1 m. Pour la mesure de l'affaiblissement d'écran (longueur de couplage électriquement longue), le tube de mesure s'étend sur une longueur de 2 m à 3 m. (Se reporter également à l'explication théorique ci-dessus.)

Dans le circuit externe, au niveau de l'extrémité la plus proche, l'écran en essai est court-circuité avec le tube de mesure. Les ondes électriques, qui sont couplées sur toute la longueur du câble du système interne au système externe, se propagent dans les deux directions, vers l'extrémité la plus proche et l'extrémité la plus éloignée. Au niveau de l'extrémité court-circuitée, elles sont totalement réfléchies, de telle sorte qu'au niveau du récepteur de mesure, la superposition du couplage d'extrémité la plus proche et d'extrémité la plus éloignée peut être mesurée comme le rapport de tension perturbatrice U_2/U_1 . L'affaiblissement d'écran, comme un rapport de puissance, est alors lié à une impédance caractéristique normalisée du système externe $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 20 \times \log \left(\left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{\max} \right) + 10 \times \log \left(\frac{2 \times Z_s}{Z_1} \right) \quad (\text{A.10})$$

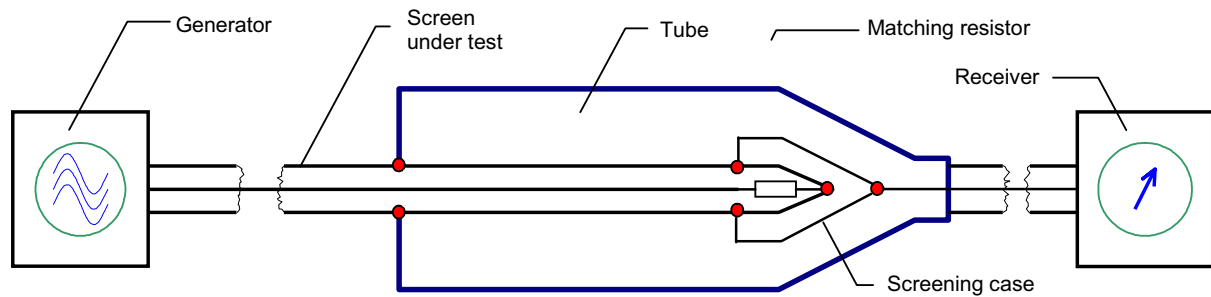
où Z_1 est l'impédance caractéristique de l'échantillon en essai et Z_s vaut 150Ω .

A.3.2 Mesure des ensembles de câbles

A.3.2.1 Généralités

La mesure des ensembles de câbles dans le montage d'essai triaxial pose un problème. En effet, les longueurs diffèrent largement et sont soit plus petites soit plus grandes que les 2 m ou 3 m du tube de mesure communément utilisé. Toutefois, les investigations des fonctions de couplage données ci-dessus montrent que:

- pour les ensembles plus longs que le tube de mesure, ils sont suffisants pour mesurer les deux extrémités accessibles de l'ensemble;
- pour les ensembles plus courts que le tube de mesure, on peut étendre l'ensemble par un câble blindé situé à l'intérieur d'un tube de cuivre fermé. C'est ce que l'on appelle la méthode des tubes concentriques.



IEC 613/06

Figure A.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_s and the transfer impedance Z_T

For the measurement of the transfer impedance (electrically short coupling length) the tube length is 0,5 m to 1 m. For the measurement of the screening attenuation (electrically long coupling length) the measuring tube is extended to a length of 2 m to 3 m. (See also the above theoretical explanation).

In the outer circuit, at the near end, the screen under test is short circuited with the measuring tube. The electrical waves, which are coupled over the whole cable length from the inner system into the outer system, propagate in both directions, to the near and to the far end. At the short circuited end, they are totally reflected, so that at the measuring receiver, the superposition of near and far end coupling can be measured as the disturbance voltage ratio U_2/U_1 . The screening attenuation as a power ratio is then related to a standardised characteristic impedance of the outer system $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 20 \times \log \left(\left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{\max} \right) + 10 \times \log \left(\frac{2 \times Z_s}{Z_1} \right) \quad (\text{A.10})$$

where

Z_1 is the characteristic impedance of the sample under test and Z_s is 150Ω .

A.3.2 Measurement of cable assemblies

A.3.2.1 General

When measuring cable assemblies in the triaxial test set-up there is a the problem in that their lengths differ widely and are either shorter or longer than the commonly used measuring tube of 2 m or 3 m. However, the investigations of the above given coupling functions show, that:

- for assemblies longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure just both accessible assembly ends;
- for assemblies shorter than the measuring tube, one can extend the assembly by a well screened cable inside a closed copper tube. This is the so called tube in tube method.

A.3.2.2 Ensembles plus longs que le tube de mesure

Dans les mesures d'affaiblissement d'écran des ensembles de câbles, il est évident que le résultat est caractérisé par la partie la plus faible. C'est-à-dire le câble ou le connecteur, ou la transition entre le câble et le connecteur. Ainsi, pour les ensembles de câbles plus longs que le tube de mesure, il est suffisant de mesurer les deux extrémités de l'ensemble (à condition que l'écran de câble soit homogène). Le cas le plus défavorable des deux mesures est l'affaiblissement d'écran de tout l'ensemble. Les graphes simulés des Figures A.5 et A.6 soulignent cette évidence.

Les paramètres de simulation sont:

a) écran de câble

longueur:	500 cm
résistance en continu:	13 mΩ/m
couplage magnétique:	0,04 mH/m
couplage capacitif:	0,02 pF/m

b) écran de connecteur incluant une transition entre le câble et le connecteur

longueur:	5 cm
résistance en continu:	2 mΩ/m
couplage magnétique:	0,002 mH
couplage capacitif:	0 pF/m

c) circuit externe (système secondaire)

impédance:	150 Ω
permittivité diélectrique:	1,1

d) circuit interne (système primaire)

impédance:	50 Ω
permittivité diélectrique:	2,3

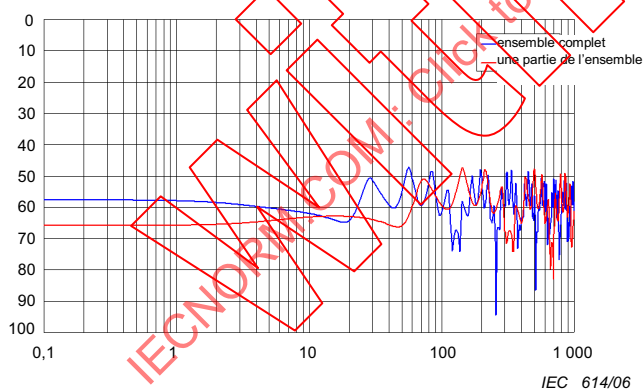


Figure A.5 – simulation d'un ensemble de câbles (échelle logarithmique)

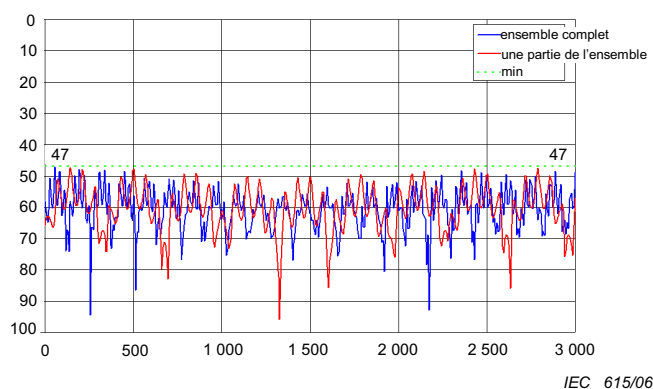


Figure A.6 – simulation d'un ensemble de câbles (échelle linéaire)

La ligne bleue représente le résultat de l'ensemble de câbles complet, c'est-à-dire un câble de 500 cm et deux connecteurs. La ligne rouge représente le résultat pour une partie de l'ensemble, c'est-à-dire 195 cm de câble et un connecteur. Dans la gamme de fréquences inférieures, lorsque les échantillons sont électriquement courts, le résultat dépend de la longueur. Toutefois, dans la gamme de fréquences supérieures, où les échantillons sont électriquement longs, on obtient la même valeur minimale, c'est-à-dire le même affaiblissement d'écran de 47 dB.

A.3.2.2 Assembly longer than the measuring tube

In screening attenuation measurements of cable assemblies, it is evident that the result is characterised by the weakest part. Either the cable or the connector or the transition between cable and connector. Thus, for cable assemblies which are longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure the assembly from both ends (provided that the cable screen is homogenous). The worst case of both measurements is than the screening attenuation of the whole assembly. The simulated graphs given in Figures A.5 and A.6 underline that evidence.

The simulation parameters are:

a) cable screen

length:	500 cm
d.c. resistance:	13 m Ω /m
magnetic coupling:	0,04 mH/m
capacitive coupling:	0,02 pF/m

b) connector screen including transition from cable to connector

length:	5 cm
d.c. resistance:	2 m Ω /m
magnetic coupling:	0,002 mH
capacitive coupling:	0 pF/m

c) outer circuit (secondary system)

impedance:	150 Ω
dielectric permittivity:	1,1

d) inner circuit (primary system)

impedance:	50 Ω
dielectric permittivity:	2,3

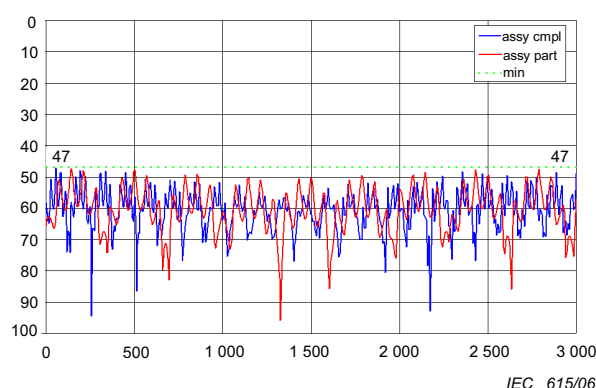
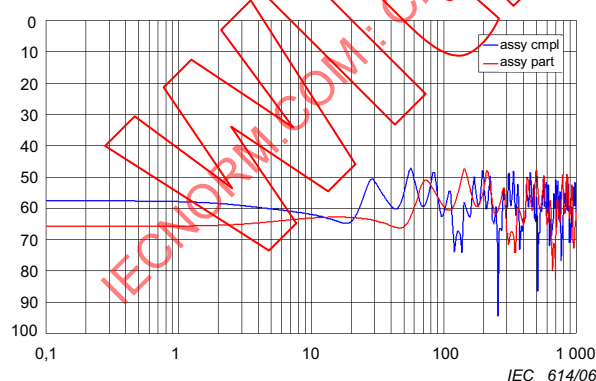


Figure A.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale) **Figure A.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale)**

The blue line shows the result of the complete cable assembly, i.e. 500 cm cable and both connectors. The red line shows the result for just one part of the assembly, i.e. 195 cm of the cable and one connector. In the lower frequency range, where the samples are electrically short, one gets a length dependent result. However in the higher frequency range, where the samples are electrically long, one gets the same minimum value, i.e. the same screening attenuation of 47 dB.

A.3.2.3 Ensembles plus courts que le tube de mesure

Lorsque l'ensemble est plus court que le tube de mesure, on peut étendre l'ensemble par un câble de connexion blindé situé à l'intérieur d'un tube de cuivre fermé. C'est ce que l'on appelle la méthode des tubes concentriques (se reporter également aux Figures A.7 et A.8).

Le tube d'extension se comporte alors comme un résonateur. Le même principe sert également à mesurer les connecteurs. L'explication suivante de la mesure des connecteurs donne davantage de détails.

A.3.3 Mesure des connecteurs

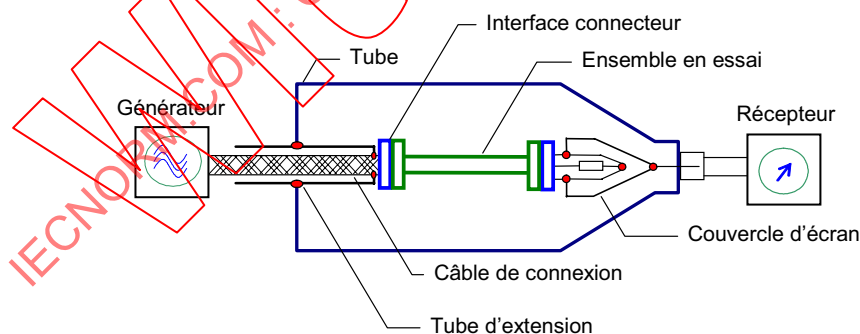
A.3.3.1 Généralités

Généralement, les connecteurs RF ont des dimensions mécaniques selon l'axe longitudinal dans la gamme comprise entre 10 mm et 50 mm. La définition des éléments électriquement longs donne des fréquences de coupure d'environ 3 GHz ou plus pour des connecteurs RF standards. Au-delà de cette fréquence, les éléments sont considérés électriquement longs.

L'affaiblissement d'écran est par définition uniquement valide dans la gamme de fréquences au-dessus de la fréquence de coupure, où les éléments sont électriquement longs. Ainsi l'affaiblissement d'écran d'un connecteur RF lui-même peut uniquement être mesuré à des fréquences supérieures à 3 GHz.

Toutefois, le fait d'étendre le connecteur RF par un tube métallique fermé ne laissant pas passer les radiofréquences constitue un ensemble de câbles électriquement long. Ainsi, la fréquence de coupure, ou la fréquence limite inférieure, pour mesurer l'affaiblissement d'écran tend vers les fréquences inférieures. Si on connecte ce tube d'extension directement au connecteur en essai, on mesure l'affaiblissement d'écran du connecteur (et de son adaptateur). Si on connecte le tube d'extension au câble de connexion proche du connecteur, on mesure l'affaiblissement d'écran de la combinaison du connecteur (et de son adaptateur) et de la transition entre le câble et le connecteur (se reporter aux figures ci-dessous).

NOTE Bien que le connecteur même reste électriquement court, la combinaison du connecteur et du tube d'extension représente le comportement (l'affaiblissement d'écran) du connecteur lorsqu'il est connecté à un câble correctement blindé, qui a une efficacité d'écran meilleure que celle du connecteur (ou la transition entre le câble et le connecteur). Se reporter également à l'explication de A.3.3.2.



IEC 616/06

Figure A.7 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les ensembles de câbles courts