

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62153-4-6

Première édition
First edition
2006-05

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

**Partie 4-6:
Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Impédance de transfert de surface –
Méthode d'injection de ligne**

Metallic communication cable test methods –

**Part 4-6:
Electromagnetic compatibility (EMC) –
Surface transfer impedance –
Line injection method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62153-4-6:2006

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**

62153-4-6

Première édition
First edition
2006-05

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

**Partie 4-6:
Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Impédance de transfert de surface –
Méthode d'injection de ligne**

Metallic communication cable test methods –

**Part 4-6:
Electromagnetic compatibility (EMC) –
Surface transfer impedance –
Line injection 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

R

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions	8
4 Considérations générales sur le couplage	8
4.1 Circuit intérieur et extérieur	8
4.2 Impédance de transfert Z_T	8
4.3 Longueur d'échantillon	10
5 Montage d'essai	12
5.1 Généralités	12
5.2 Appareils	14
5.3 Injecteur	16
5.4 Circuit d'adaptation d'impédance	24
6 Préparation des échantillons d'essai	28
6.1 Généralités	28
6.2 Câbles symétriques sous écran	30
6.3 Câbles multiconducteurs sous écran	32
7 Mesure	32
7.1 Généralités	32
7.2 Précautions de mesure	32
7.3 Etalonnage	32
7.4 Méthode de mesure	34
7.5 Evaluation des résultats d'essais	36
8 Expression des résultats d'essai	38
8.1 Expression	38
8.2 Correction de température	38
8.3 Rapport d'essai	38
9 Exigence	38
Figure 1 – Installation complète	14
Figure 2 – Injecteur assemblé pour ligne de type à transmission, Méthode d'injection – Liste des éléments	18
Figure 3 – Partie supérieure de l'injecteur – Position 1	20
Figure 4 – Partie inférieure de l'injecteur – Position 2	22
Figure 5 – Partie d'adaptation d'impédance de l'injecteur – Position 3	22
Figure 6 – Insert pour adapter les différentes tailles des câbles en essai – Position 4	24
Figure 7 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 < 50 \Omega$	26
Figure 8 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 > 50 \Omega$	28
Figure 9 – Préparation du câble en essai (CUT)	30
Figure 10 – Ecran supplémentaire des connecteurs sur le câble en essai (CUT)	30
Figure 11 – Préparation des échantillons symétriques	30
Figure 12 – Montage d'étalonnage	34
Figure 13 – Montage de mesure à l'extrémité éloignée	36

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	9
2 Normative references.....	9
3 Terms and definitions	9
4 General coupling considerations	9
4.1 Inner and outer circuit.....	9
4.2 Transfer impedance Z_T	9
4.3 Sample length	11
5 Test set-up	13
5.1 General	13
5.2 Equipment	15
5.3 Launcher	17
5.4 Impedance matching circuit	25
6 Preparation of the test sample	29
6.1 General	29
6.2 Screened symmetrical cables	31
6.3 Screened multi-conductor cables	33
7 Measurement.....	33
7.1 General	33
7.2 Measurement precautions.....	33
7.3 Calibration	33
7.4 Measuring procedure.....	35
7.5 Evaluation of the test results.....	37
8 Expression of test results.....	39
8.1 Expression	39
8.2 Temperature correction	39
8.3 Test report.....	39
9 Requirement.....	39
Figure 1 – Complete installation	15
Figure 2 – Assembled launcher for the transmission type line, Injection method – Parts list... 19	19
Figure 3 – Upper part of launcher – Position 1	21
Figure 4 – Lower part of launcher – Position 2	23
Figure 5 – Impedance matching part of launcher – Position 3	23
Figure 6 – Insert for adapting the different sizes of the cables under test – Position 4	25
Figure 7 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$	27
Figure 8 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$	29
Figure 9 – Preparation of the cable under test (CUT)	31
Figure 10 – Additional screening of connectors on the cable under test (CUT)	31
Figure 11 – Preparation of symmetrical samples.....	31
Figure 12 – Calibration set-up	35
Figure 13 – Far end measuring set-up	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-6: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance de transfert de surface – Méthode d'injection de ligne

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 62153-4-6 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/800/FDIS	46A/817/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

**Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC) –
Surface transfer impedance –
Line injection 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 62153-4-6 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/800/FDIS	46A/817/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 (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 4-0: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Relationship between Surface transfer impedance and Screening attenuation, recommended limits (disponible en anglais seulement)¹
- Partie 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements (disponible en anglais seulement)
- 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 "a_s" up to and above 3 GHz (disponible en anglais seulement)
- 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 (disponible en anglais seulement)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 correction¹
- Part 4-0: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Relationship between Surface transfer impedance and Screening attenuation, recommended limits¹
- Part 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements¹
- 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) – 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.

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-6: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance de transfert de surface – Méthode d'injection de ligne

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62153 détermine l'efficacité d'écran d'un câble métallique blindé de communication en appliquant un courant et une tension bien définis à l'écran du câble et en mesurant la tension induite afin de déterminer l'impédance de transfert de surface.

Les mesures dans la plage de fréquences comprise entre quelques kHz et plus de 1 GHz peuvent être effectuées en utilisant des instruments normaux à haute fréquence.

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 62153-4-3, *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance surfacique de transfert – Méthode triaxiale*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 61196-1 s'appliquent.

4 Considérations générales sur le couplage

4.1 Circuit intérieur et extérieur

Le circuit extérieur (circuit d'injection de ligne) est alimenté et indiqué par l'indice 1. Il se compose de la surface de l'écran et du fil d'injection. L'indice 2 indique le circuit intérieur (câble en essai) sur lequel la tension induite est mesurée.

4.2 Impédance de transfert Z_T

Un des éléments importants dans la détermination de l'efficacité d'écran des câbles est l'impédance de transfert Z_T de l'écran.

Pour un câble uniforme électriquement court, elle est définie comme le quotient de la tension longitudinale induite dans le circuit intérieur du câble en essai par le courant du circuit extérieur (circuit d'injection de ligne) – ou vice versa – par rapport à la longueur de l'unité.

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Line injection method

1 Scope

This part of IEC 62153 determines the screening effectiveness of a shielded metallic communication cable by applying a well-defined current and voltage to the screen of the cable and measuring the induced voltage in order to determine the surface transfer impedance.

Measurements in the frequency range from a few kHz up to and above 1 GHz can be made with the use of normal high frequency instrumentation.

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*

CEI 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions given in IEC 61196-1 apply.

4 General coupling considerations

4.1 Inner and outer circuit

The outer circuit (line injection circuit) is fed and indicated by the subscript 1. It consists of the screen surface and the injection wire. The subscript 2 denotes the inner circuit (cable under test) where the induced voltage is measured.

4.2 Transfer impedance Z_T

One important element in the determination of the screening effectiveness of cables is the transfer impedance Z_T of its screen.

For an electrically short uniform cable, it is defined as the quotient of the longitudinal voltage induced in the inner circuit of the cable under test to the current in the outer circuit (line injection circuit) – or vice versa – related to unit length.

La plupart des câbles présentent un couplage capacitif négligeable. Mais pour les câbles lâches à tressage individuel, le couplage capacitif ne peut pas être négligé. Le couplage à travers les trous de l'écran est décrit en termes de capacité directe C_T ou d'admittance de couplage capacitif Y_C . Pour un câble uniforme électriquement court, Y_C est définie comme le quotient du courant induit dans le circuit intérieur par la tension développée dans le circuit extérieur – formé par l'écran en essai et le fil d'injection – ou vice versa – par rapport à la longueur de l'unité.

Dans le cas d'un couplage capacitif ne pouvant pas être négligé, l'efficacité d'écran est décrite par l'impédance de transfert équivalente Z_{TE} :

$$Z_{TE} = \max|Z_F \pm Z_T| \quad (1)$$

$$Z_F = j\omega C_T Z_1 Z_2 = Y_C Z_1 Z_2 \quad (2)$$

où

ω est la fréquence angulaire;

$\pm$ fait référence à une mesure à l'extrémité proche/à l'extrémité éloignée,

C_T est la capacité directe;

Y_C est l'admittance de couplage capacitif;

Z_1 est l'impédance caractéristique du circuit intérieur (câble en essai);

Z_2 est l'impédance caractéristique du circuit d'injection;

Z_F est l'impédance de couplage capacitif;

Z_T est l'impédance de transfert;

Z_{TE} est l'impédance de transfert équivalente.

4.3 Longueur d'échantillon

La longueur du câble en essai doit permettre la longueur de couplage nécessaire pour la gamme de fréquences spécifiée et la connexion à l'instrument d'essai.

La longueur de couplage dépend de la fréquence la plus élevée à mesurer. La longueur de couplage minimale doit être de 0,3 m.

Pour les circuits adaptés, la longueur de couplage maximale peut être calculée comme suit:

$$L_{c,max} \leq \frac{c}{\pi \times f_{max} \times \left| \sqrt{\epsilon_{r2}} \pm \sqrt{\epsilon_{r1}} \right|} \quad (3)$$

où

ϵ_{r1} est la permittivité diélectrique relative résultante du diélectrique du circuit d'injection;

ϵ_{r2} est la permittivité diélectrique relative résultante du diélectrique du câble;

$\pm$ fait référence à une mesure à l'extrémité proche/à l'extrémité éloignée;

c est la vitesse de la lumière, 3×10^8 m/s;

f_{max} est la fréquence la plus élevée à mesurer en Hz;

$L_{c,max}$ est la longueur maximale de couplage en m.

Most cables have negligible capacitive coupling. But for loose single braided cables, capacitive coupling cannot be neglected. The coupling through the holes in the screen is described in terms of the through capacitance C_T or the capacitive coupling admittance Y_C . For an electrically short uniform cable, Y_C is defined as the quotient of the current induced in the inner circuit to the voltage developed in the outer circuit – formed by the screen under test and the injection wire – or vice versa – related to unit length.

In case of a non negligible capacitive coupling, the screening effectiveness is described by the equivalent transfer impedance Z_{TE} :

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (1)$$

$$Z_F = j\omega C_T Z_1 Z_2 = Y_C Z_1 Z_2 \quad (2)$$

where

ω is the radian frequency;

$\pm$ refers to near/far end measurement;

C_T is the through capacitance;

Y_C is the capacitive coupling admittance;

Z_1 is the characteristic impedance of the inner circuit (cable under test);

Z_2 is the characteristic impedance of the injection circuit;

Z_F is the capacitive coupling impedance;

Z_T is the transfer impedance;

Z_{TE} is the equivalent transfer impedance.

4.3 Sample length

The length of the cable under test shall allow the coupling length necessary for the specified frequency range and the connection to the test instrument.

The coupling length depends on the highest frequency to be measured. The minimum coupling length shall be 0,3 m.

For matched circuits the maximum coupling length may be calculated by:

$$L_{c,max} \leq \frac{c}{\pi \times f_{max} \times |\sqrt{\epsilon_{r2}} \pm \sqrt{\epsilon_{r1}}|} \quad (3)$$

where

ϵ_{r1} is the resulting relative dielectric permittivity of the dielectric of the injection circuit;

ϵ_{r2} is the resulting relative dielectric permittivity of the dielectric of cable;

$\pm$ refers to near/far end measurement;

c is the velocity of light, 3×10^8 m/s;

f_{max} is the highest frequency to be measured in Hz;

$L_{c,max}$ is the maximum coupling length in m.

Les conditions pour les circuits adaptés sont les suivantes:

- a) l'impédance caractéristique du circuit d'injection est égale à la résistance de sortie du générateur et à la résistance de charge R_2 ,
- b) l'impédance caractéristique du circuit d'injection ne varie pas sur la longueur de couplage (coefficient de réflexion inférieur à 0,1) et la résistance de charge R_1 ,
- c) le coefficient de réflexion de chaque injecteur est inférieur à 0,1,
- d) l'impédance caractéristique de la ligne quasi-coaxiale de l'échantillon de câble préparé est égale à la résistance d'entrée du récepteur et à la résistance de charge R_2 . C'est pourquoi le câble en essai peut être connecté au récepteur via un circuit d'adaptation d'impédance.

Pour tout défaut d'adaptation dans le montage d'essai, la fréquence la plus élevée à mesurer avec une longueur de couplage définie sera inférieure à celle calculée. Dans ce cas, la fréquence la plus élevée peut être déduite au niveau de l'écart de 6 dB de la progression linéaire de la courbe dans un schéma où l'axe des x correspond à la fréquence selon l'échelle logarithmique et où l'axe des y est le rapport de tension logarithmique $U_{\text{récepteur}}/U_{\text{générateur}}$.

5 Montage d'essai

5.1 Généralités

Comme représenté à la Figure 1, le circuit d'injection est construit comme une ligne de transmission utilisant un ou plusieurs fils parallèles, une bande en cuivre ondulé ou une tresse plate en cuivre avec le conducteur extérieur du câble en essai. Le circuit d'injection est connecté à la ligne coaxiale à chaque extrémité via un injecteur. Le fil d'injection doit être solidement fixé à l'échantillon de câble le long de la longueur de couplage (par exemple avec un ruban adhésif). L'impédance caractéristique du circuit d'injection doit être égale à la résistance de sortie du générateur et à la résistance de charge R_2 , cela est obtenu en choisissant une taille de conducteur appropriée et le type d'isolation du fil d'injection.

Le coefficient de réflexion de l'injecteur et du circuit d'injection le long de la longueur de couplage doit être inférieur à 0,1 en liaison avec la résistance de sortie du générateur, c'est-à-dire qu'il convient que le facteur d'adaptation soit supérieur à 20 dB.

The conditions for matched circuits are

- a) the characteristic impedance of the injection circuit is equal to the generator output resistance and the load resistance R_2 ,
- b) the characteristic impedance of the injection circuit does not vary along the coupling length (reflection coefficient less than 0,1) and the load resistance R_1 ,
- c) the reflection coefficient of each launcher is less than 0,1,
- d) the characteristic impedance of the quasi coaxial line of the prepared cable sample is equal to the receiver input resistance and the load resistance R_2 . Therefore the cable under test may be connected to the receiver via an impedance matching circuit.

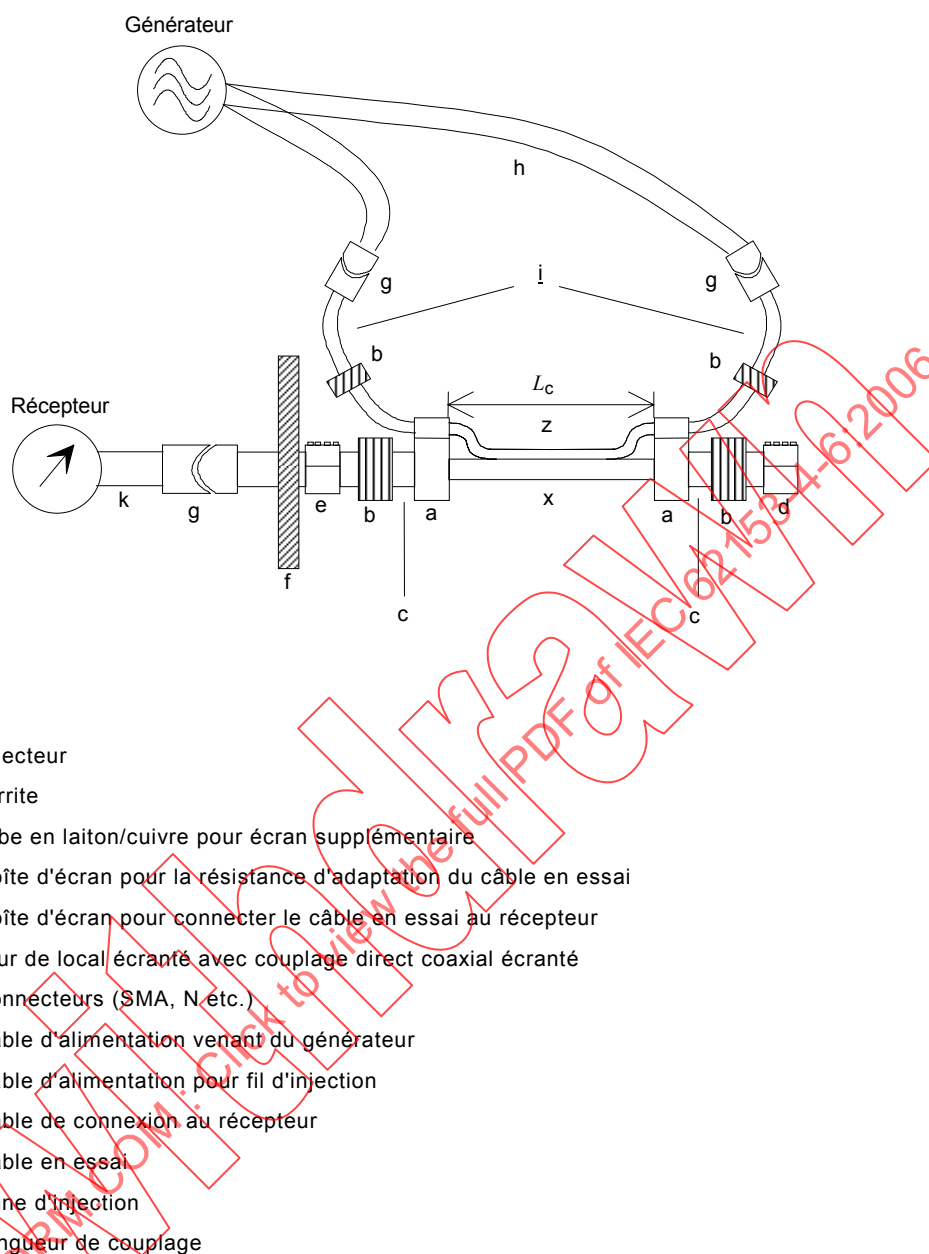
For any mismatch in the test set-up, the highest frequency to be measured with a defined coupling length will be less than calculated. In this case the highest frequency may be derived at the 6 dB deviation of the linear progress of the curve in a diagram where the x-axis is the frequency in the logarithmic scale and the y-axis is the logarithmic voltage ratio $U_{\text{receiver}}/U_{\text{generator}}$.

5 Test set-up

5.1 General

As shown in Figure 1, the injection circuit is constructed as a transmission line using one or more parallel wires, a corrugated copper strip or a flat copper braid with the outer conductor of the cable under test. The injection circuit is connected to the coaxial line at each end via a launcher. The injection wire shall be fitted tightly to the cable sample along the coupling length (for example, with an adhesive tape). The characteristic impedance of the injection circuit shall be equal to the generator output resistance and the load resistance R_2 , this is achieved by choosing an appropriate conductor size and the type of insulation of the injection wire.

The reflection coefficient of the launcher and the injection circuit along the coupling length shall be less than 0,1 related to the generator output resistance, i.e. the return loss should be higher than 20 dB.



Légende

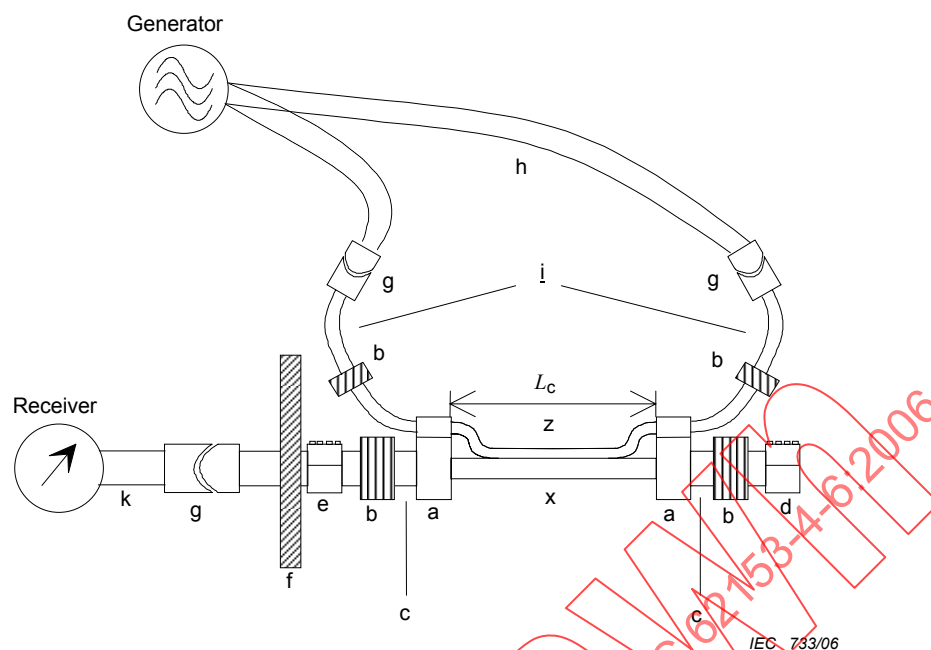
a	injecteur
b	ferrite
c	tube en laiton/cuivre pour écran supplémentaire
d	boîte d'écran pour la résistance d'adaptation du câble en essai
e	boîte d'écran pour connecter le câble en essai au récepteur
f	mur de local écrané avec couplage direct coaxial écrané
g	connecteurs (SMA, N, etc.)
h	câble d'alimentation venant du générateur
i	câble d'alimentation pour fil d'injection
k	câble de connexion au récepteur
x	câble en essai
z	ligne d'injection
L_c	longueur de couplage

Figure 1 – Installation complète

5.2 Appareils

L'équipement de mesure se compose des éléments suivants:

- un analyseur de réseaux ou sinon
 - un générateur de signal avec la même impédance caractéristique que le système (quasi)-coaxial du câble en essai ou avec un adaptateur d'impédance, complété par un amplificateur de puissance si nécessaire pour une impédance de transfert très faible,
 - un récepteur avec un affaiblisseur à pas étalonné et complété par un amplificateur à faible bruit pour impédance de transfert très faible,
- un réflectomètre dans le domaine temporel (TDR) avec un temps de montée inférieur à 350 ps ou un analyseur de réseaux (au moins 3 GHz) effectuant une mesure du facteur d'adaptation transformée dans le domaine temporel,



Key

- a launcher
- b ferrite
- c brass/copper tube for additional screening
- d screening box for the matching resistor of the cable under test
- e screening box for connecting the cable under test to the receiver
- f screened-room wall with screened coaxial feed-through
- g connectors (SMA, N etc.)
- h feeding cable from the generator
- i feeding cables for injection wire
- k connecting cable to receiver
- x cable under test
- z injection line
- L_c coupling length

Figure 1 – Complete installation

5.2 Equipment

The measuring equipment consists of

- a) a network analyser or alternatively
 - signal generator with the same characteristic impedance as the (quasi) -coaxial system of the cable under test or with an impedance adapter and complemented with a power amplifier if necessary for very low transfer impedance,
 - receiver with a calibrated step attenuator and complemented with a low noise amplifier for very low transfer impedance,
- b) time domain reflectometer (TDR) with a rise time of less than 350 ps or network analyser (at least 3 GHz) performing a return loss measurement transformed into the time domain,

- c) une installation pour l'impression,
- d) un circuit d'adaptation d'impédance si nécessaire. L'impédance nominale du côté primaire est égale à l'impédance nominale du générateur. L'impédance nominale du côté secondaire est égale à l'impédance nominale du système (quasi)-coaxial du câble en essai (voir 5.4). Le facteur d'adaptation mesuré du côté primaire doit être au minimum de 10 dB.

5.3 Injecteur

La conception des injecteurs est ajustée pour permettre une adaptation optimale du mode électromagnétique transverse (TEM) symétrique dans les câbles coaxiaux d'alimentation et de terminaison avec le champ asymétrique le long de la ligne parallèle tout en maintenant une bonne résistance mécanique pour une utilisation répétée. Des informations détaillées sur un injecteur possible sont données dans les Figures 2 à 6. Un réglage fin de la discontinuité peut être réalisé en faisant varier l'insert de matériau cellulaire, voir le point 8 de la Figure 2.

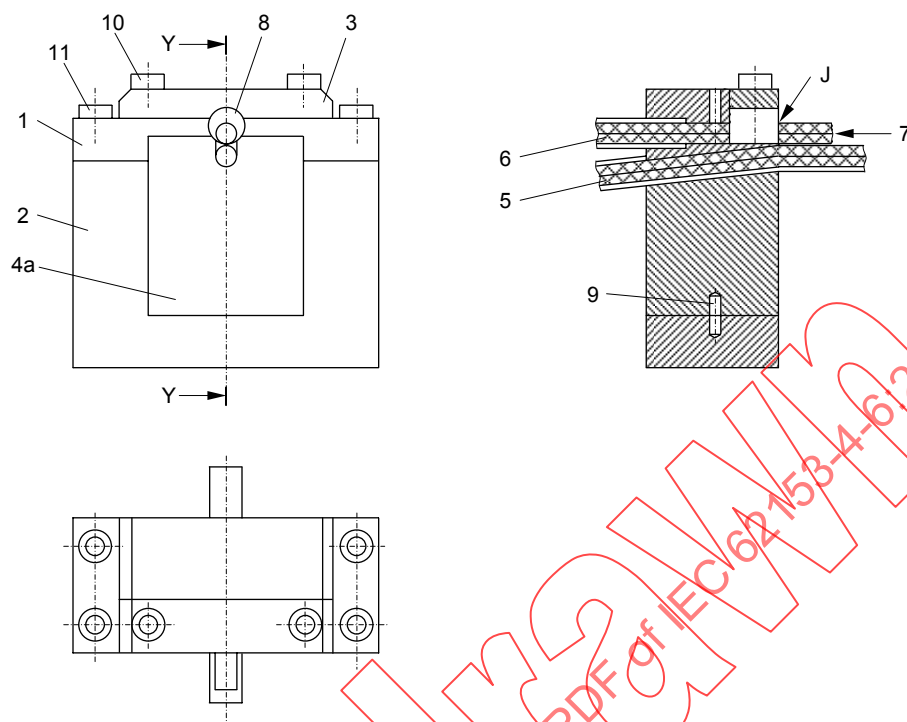
Sinon, un injecteur adapté peut être réalisé avec un petit connecteur (type soudure coulée) attaché au câble en essai, ou plus facilement en attachant le conducteur extérieur d'un petit câble coaxial d'impédance caractéristique appropriée à la gaine dénudée du câble en essai. Dans la section d'essai elle-même, le conducteur central du câble coaxial est continué en utilisant deux ou quatre fils parallèles, une bande de cuivre ondulé ou un tressage de cuivre plat. Un réglage fin d'une discontinuité d'injecteur peut être obtenu en attachant plus près le joint et le fil d'injection sur la gaine du câble en essai dans la section d'essai.

- c) printing facility,
- d) impedance matching circuit if necessary. The nominal impedance of the primary side is equal to the nominal impedance of the generator. The nominal impedance of the secondary side is equal to the nominal impedance of the (quasi) –coaxial system of the cable under test (see 5.4). The return loss measured from the primary side shall be minimum 10 dB.

5.3 Launcher

The design of the launchers is adjusted to allow an optimum matching of the symmetrical transverse electromagnetic mode (TEM) in the coaxial feeding and terminating cables to the asymmetrical field along the parallel line whilst maintaining good mechanical strength for repeated use. Details of a possible launcher are given in Figure 2 to Figure 6. Fine tuning of the discontinuity can be made by varying the foam insert, see item 8 of Figure 2.

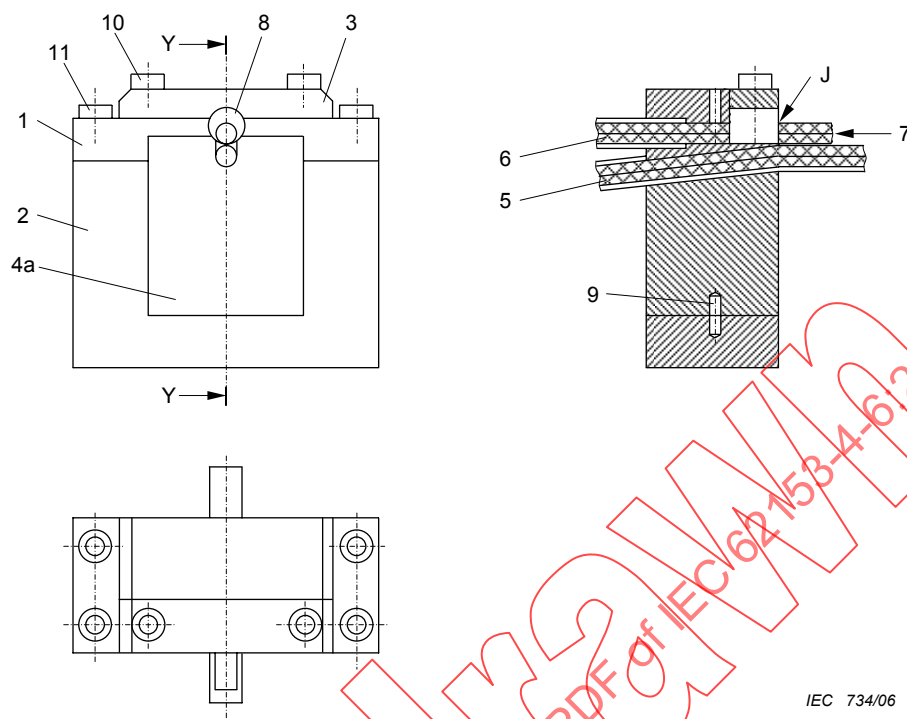
Alternatively, a suitable launcher can be made with a small connector (solder spill type) strapped to the CUT (cable under test), or more easily by strapping the outer conductor of a small coaxial cable of appropriate characteristic impedance to the bared sheath of the CUT. In the test section itself, the centre conductor of the coaxial cable is continued using two or four parallel wires, corrugated copper strip or flat copper braid. Fine tuning of a launcher discontinuity can be achieved by strapping the joint and the injection wire more closely onto the sheath of the CUT in the test section.



Légende

Quantité	Partie	Position	Remarques, matériau
4	Vis métrique M3 × M10	11	
2	Vis métrique M3 × M6	10	
1	Diamètre de broche 2 × 8 (mm)	9	
1	Diélectrique cellulaire	8	ε près de 1
1	Fil d'injection	7	
1	Câble coaxial 50 Ω	6	Impédance comme exigé
1	Câble en essai (Cable under test – CUT)	5	
1	Insert pour CUT	4a	Laiton
1	Partie d'adaptation d'impédance	3	Laiton
1	Partie basse	2	Laiton
1	Partie haute	1	Laiton
	Injecteur d'essai (deux exigés)		

**Figure 2 – Injecteur assemblé pour ligne de type à transmission,
Méthode d'injection – Liste des éléments**

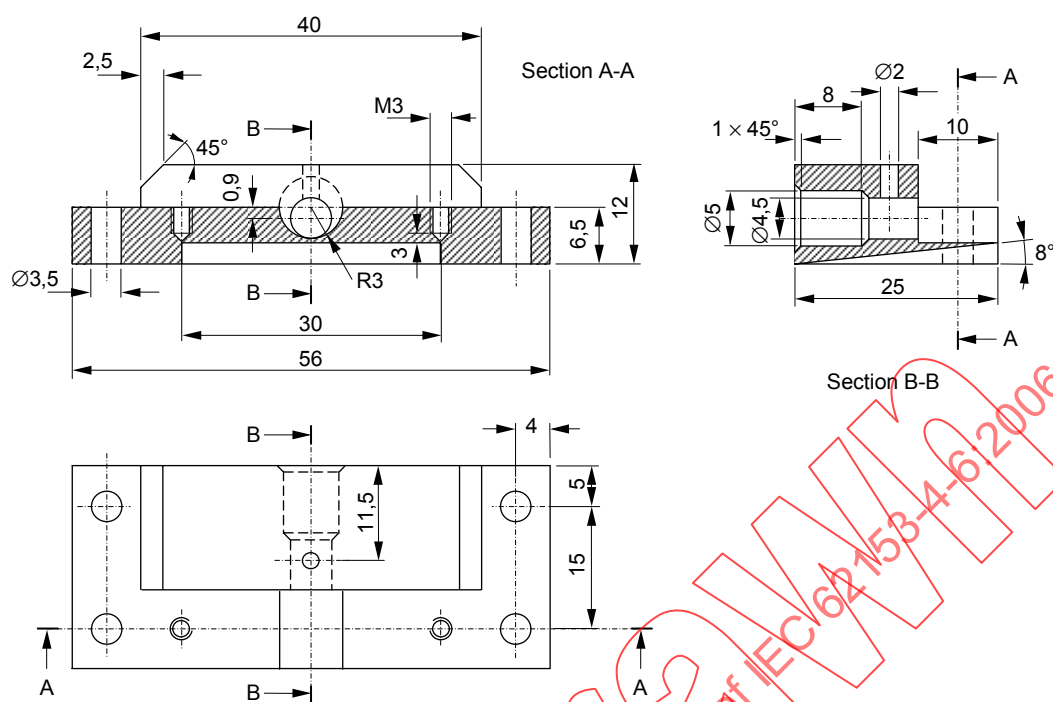


IEC 734/06

Key

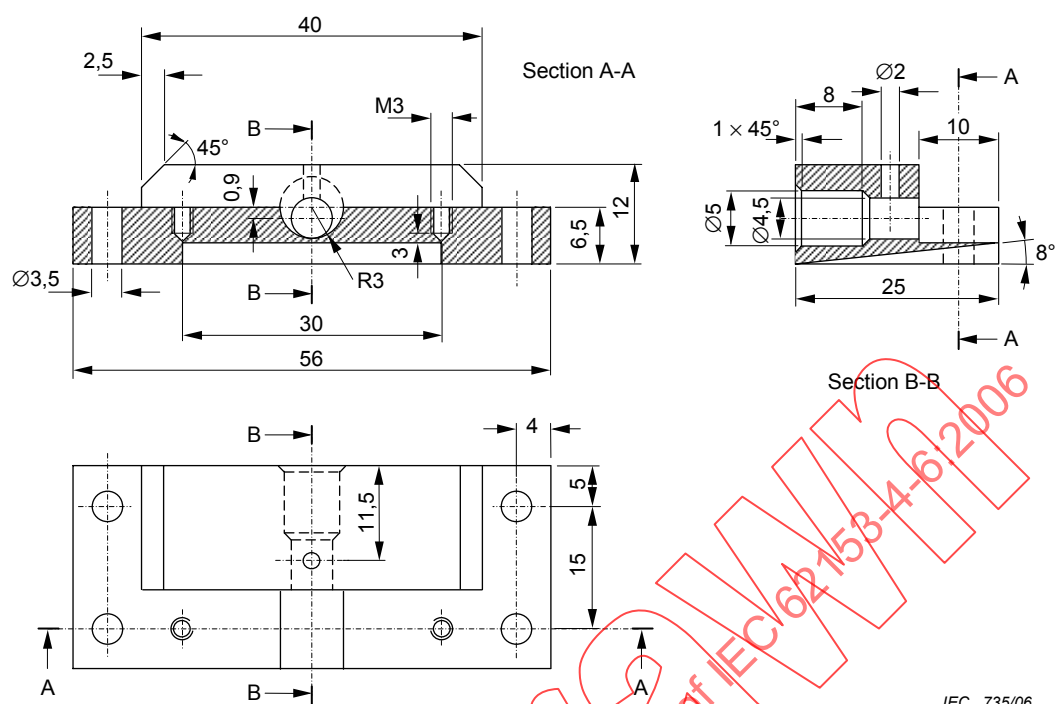
Quantity	Part	Position	Remarks, material
4	Metric screw M3 × M10	11	
2	Metric screw M3 × M6	10	
1	Pin diameter 2 × 8 (mm)	9	
1	Foam dielectric	8	ϵ_r close to 1
1	Injection wire	7	
1	50 Ω coaxial cable	6	Impedance as required
1	Cable under test (CUT)	5	
1	Insert for CUT	4a	Brass
1	Impedance matching part	3	Brass
1	Lower part	2	Brass
1	Upper part	1	Brass
	Test launcher (two required)		

**Figure 2 – Assembled launcher for the transmission type line,
Injection method – Parts list**



Dimensions en mm

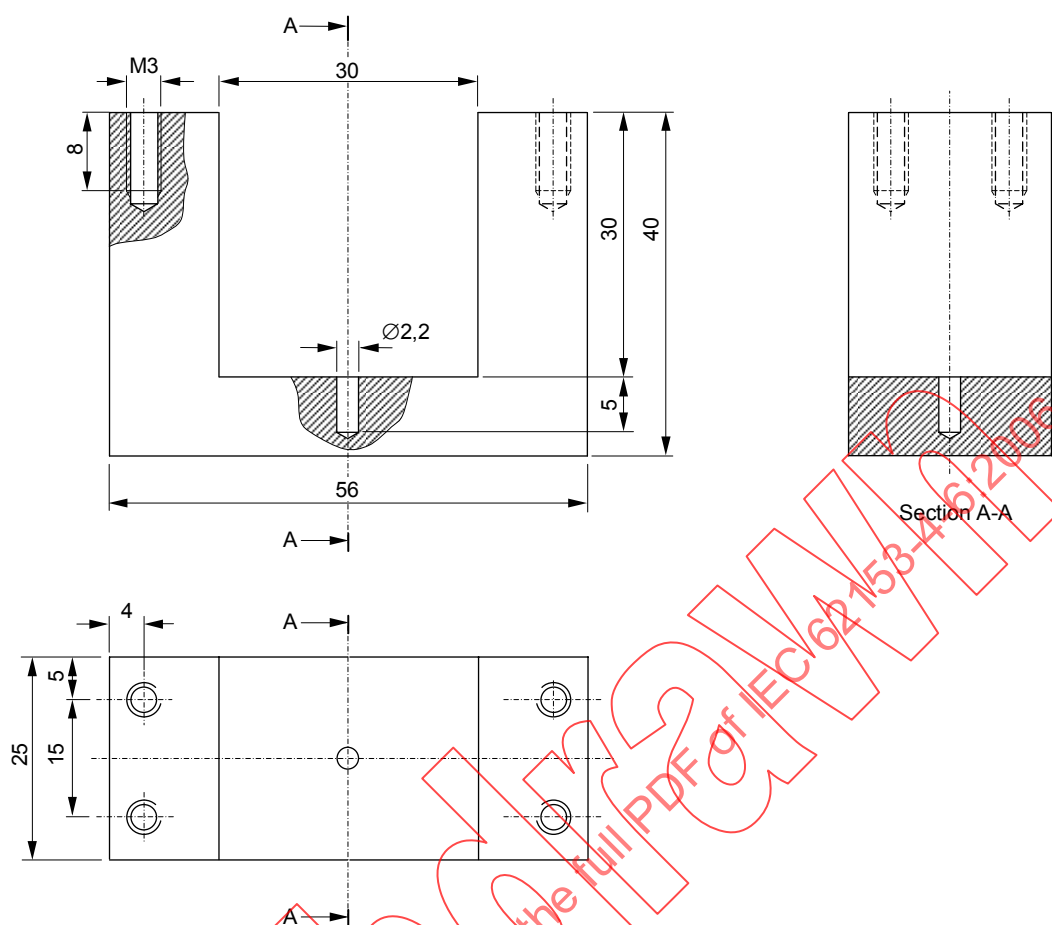
Figure 3 – Partie supérieure de l'injecteur – Position 1



IEC 735/06

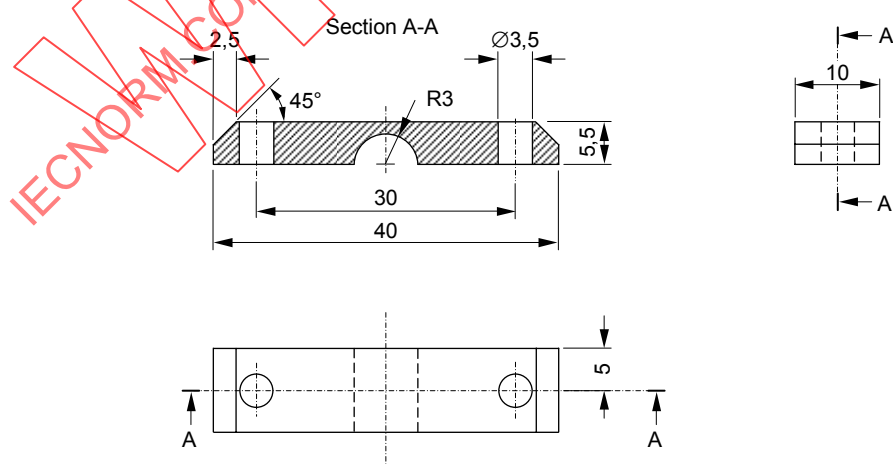
Dimensions in mm

Figure 3 – Upper part of launcher – Position 1



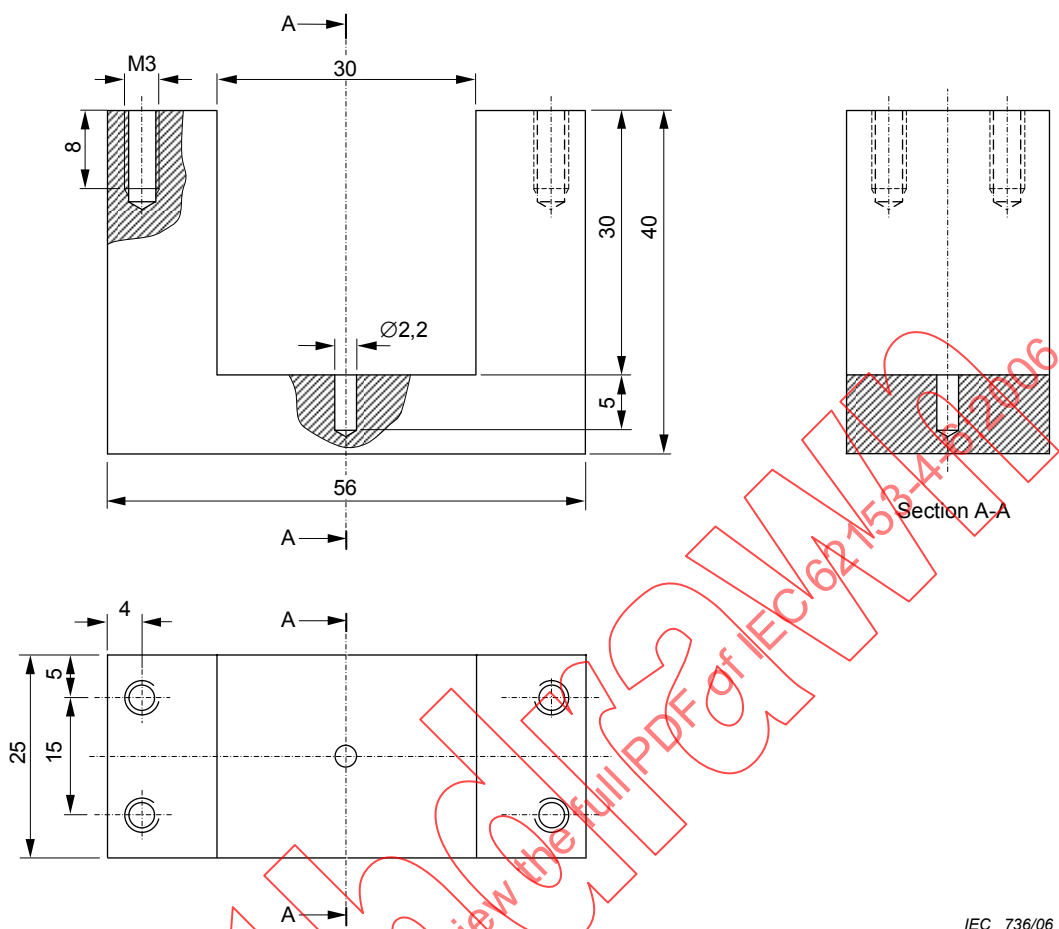
Dimensions en mm

Figure 4 – Partie inférieure de l'injecteur – Position 2



Dimensions en mm

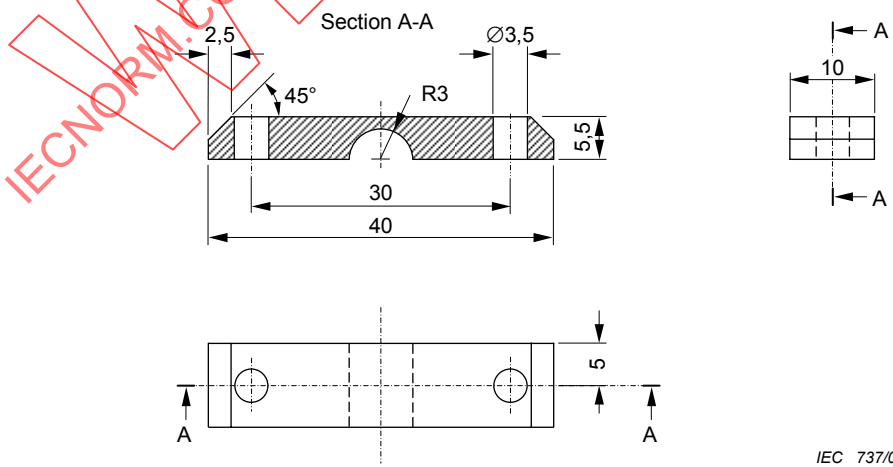
Figure 5 – Partie d'adaptation d'impédance de l'injecteur – Position 3



IEC 736/06

Dimensions in mm

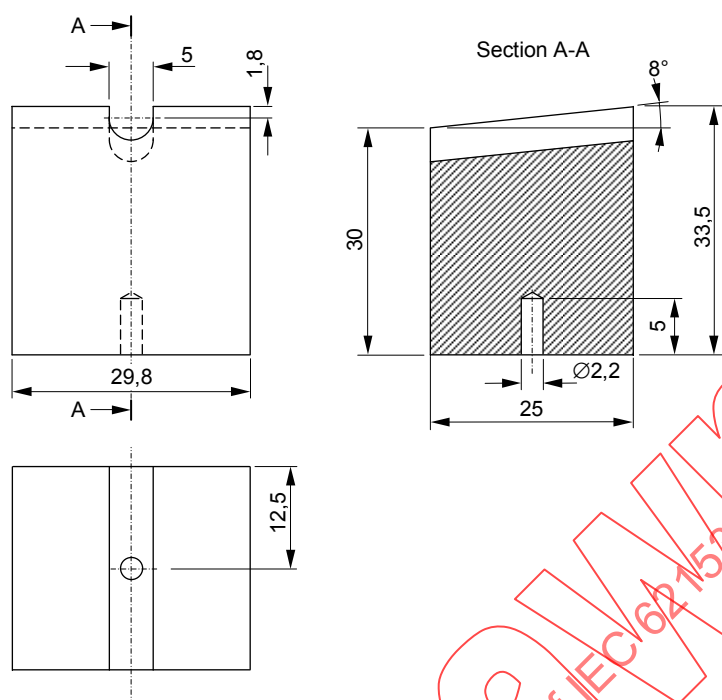
Figure 4 – Lower part of launcher – Position 2



IEC 737/06

Dimensions in mm

Figure 5 – Impedance matching part of launcher – Position 3



Dimensions en mm

Figure 6 – Insert pour adapter les différentes tailles des câbles en essai – Position 4

5.4 Circuit d'adaptation d'impédance

5.4.1 Généralités

Si l'impédance du câble en essai Z_1 n'est pas égale à la résistance d'entrée du récepteur (généralement 50Ω), alors un circuit d'adaptation d'impédance est nécessaire. Il doit être mis en place sous la forme d'un circuit à deux résistances avec une résistance série, R_s et d'une résistance parallèle R_p . La valeur des résistances et des configurations est donnée dans les Paragraphes 5.4.2 à 5.4.5.

5.4.2 Impédance du système intérieur

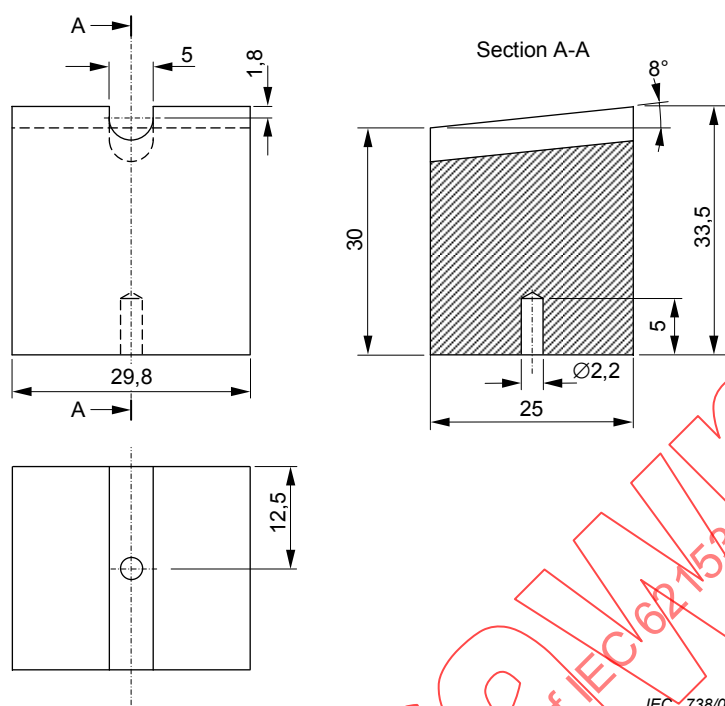
Si l'impédance Z_1 du système intérieur (coaxial ou quasi-coaxial) n'est pas connue, elle peut être déterminée soit avec un réflectomètre dans le domaine temporel soit en utilisant la méthode suivante.

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

$$f_{\text{essai}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{échantillon}} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (4)$$

où

- f_{essai} est la fréquence en Hz;
- c est la vitesse de la lumière, 3×10^8 m/s;
- $L_{\text{échantillon}}$ est la longueur de l'échantillon.



Dimensions in mm

Figure 6 – Insert for adapting the different sizes of the cables under test – Position 4

5.4 Impedance matching circuit

5.4.1 General

If the impedance of the cable under test Z_1 is not equal to the receiver input 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 5.4.2 to 5.4.5.

5.4.2 Impedance of inner system

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.

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.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (4)$$

where

- f_{test} is the test frequency in Hz;
- c is the velocity of light, 3×10^8 m/s;
- L_{sample} is the length of sample.

L'échantillon est court-circuité à l'extrémité éloignée. L'impédance Z_{courte} est mesurée.

L'échantillon est laissé ouvert au point où il a été coupé. L'impédance Z_{ouverte} est mesurée.

Z_1 est calculée comme:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{courte}} \times Z_{\text{ouverte}}} \quad (5)$$

5.4.3 Circuit d'adaptation si $Z_1 < 50 \Omega$

Si l'impédance du système intérieur Z_1 et en conséquence la résistance de charge R_1 est inférieure à 50Ω , les formules ci-dessous sont utilisées:

$$R_s = 50 \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (6)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (7)$$

La configuration est illustrée à la Figure 7.

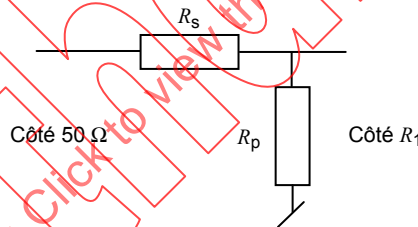


Figure 7 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 < 50 \Omega$

Le gain de tension, k_m du circuit est:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad (8)$$

5.4.4 Circuit d'adaptation si $Z_1 > 50 \Omega$

Si l'impédance du système intérieur Z_1 et par conséquent R_1 est supérieure à 50Ω , on utilise les formules ci-dessous.

$$R_s = R_2 \sqrt{1 - \frac{50}{R_2}} \quad (9)$$

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:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \times Z_{\text{open}}} \quad (5)$$

5.4.3 Matching circuit if $Z_1 < 50 \Omega$

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

$$R_s = 50 \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (6)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (7)$$

The configuration is depicted in Figure 7.

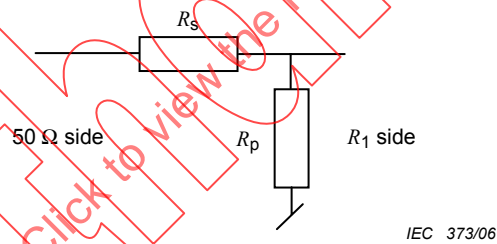


Figure 7 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$

The voltage gain k_m of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad (8)$$

5.4.4 Matching circuit if $Z_1 > 50 \Omega$

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

$$R_s = R_2 \sqrt{1 - \frac{50}{R_2}} \quad (9)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_2}}} \quad (10)$$

La configuration est illustrée à la Figure 8.

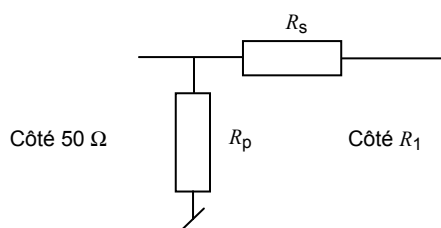


Figure 8 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 > 50 \Omega$

Le gain de tension, k_m du circuit est:

$$k_m = \frac{R_2}{R_s + R_2} \quad (11)$$

6 Préparation des échantillons d'essai

6.1 Généralités

La longueur d'essai recommandée entre les deux injecteurs est de 0,5 m pour les fréquences jusqu'à 1 GHz (voir aussi 4.3). Pour un injecteur tel que décrit en 5.3, il convient que le CUT possède un écran en tubes de laiton ou de cuivre à l'extérieur de sa longueur d'essai (voir points h_1 et h_2 à la Figure 9). Les tubes de blindage doivent créer un contact avec l'écran du câble S en E par soudage ou sertissage. Si la technique du soudage est utilisée, on doit veiller à ne pas surchauffer le diélectrique du câble. Une bonne pratique consiste à choisir le diamètre du tube de manière à ce que le câble en essai puisse être inséré avec la gaine extérieure retirée et fixé par un outil de sertissage normal. L'avantage de cette méthode est d'empêcher la fragmentation du tressage de câble S près de la longueur d'essai du câble en essai par le positionnement à proximité du tube. Une autre possibilité est l'utilisation de coins pour être en contact avec des câbles à tressage/à feuille d'aluminium non soudable.

Des connecteurs adaptés (N, SMA) doivent être montés aux deux extrémités du câble en essai. Ils sont couplés à la terminaison et au câble du récepteur et ils sont montés dans les boîtes d'écran (Figure 10). Le câble en essai complet doit être soumis aux essais avec un TDR pour la qualité électrique du câble en essai lui-même. Les forces de pliage doivent être évitées au niveau des joints entre les tubes et la section d'essai du câble en essai pour empêcher les dommages mécaniques.

Pour réduire l'influence du couplage non désiré d'énergie électromagnétique aux extrémités libres, la somme de l_1 et l_2 ne doit pas dépasser la longueur de la section d'essai du câble en essai.

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_2}}} \quad (10)$$

The configuration is depicted in Figure 8.

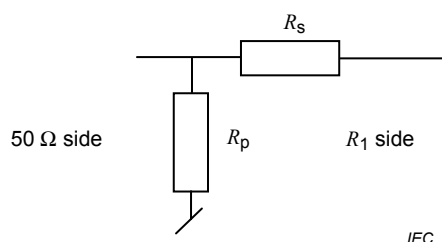


Figure 8 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$

The voltage gain k_m of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_2}{R_s + R_2} \quad (11)$$

6 Preparation of the test sample

6.1 General

The recommended test length between the two launchers is 0,5 m for frequencies up to 1 GHz (see also 4.3). For a launcher as described in 5.3, the CUT should be shielded with brass or copper tubes outside its test length (see items h_1 and h_2 in Figure 9). The shielding tubes shall make contact with the cable screen S at E by soldering or crimping. If soldering is used, care shall be taken not to overheat the cable dielectric. A good practice is to choose the tube diameter such that the CUT can be inserted with the outer sheath removed and fixed by a standard crimping tool. The advantage of this method is that the cable braid S is prevented from unravelling near the test length of the CUT by the close positioning of the tube. Another possibility is the use of wedges to contact non-solderable aluminium foil/braid cables.

Suitable connectors (N, SMA) shall be mounted on both ends of the CUT. These are coupled to the termination and to the receiver cable and are mounted in screening boxes (Figure 10). The completed CUT shall be tested with a TDR for the electrical quality of the CUT itself. Bending forces shall be avoided at the joints between the tubes and the test section of the CUT to prevent mechanical damage.

To reduce the influence of unwanted coupling of electromagnetic energy into the free ends, the sum of both l_1 and l_2 shall not exceed the length of the test section of the CUT.

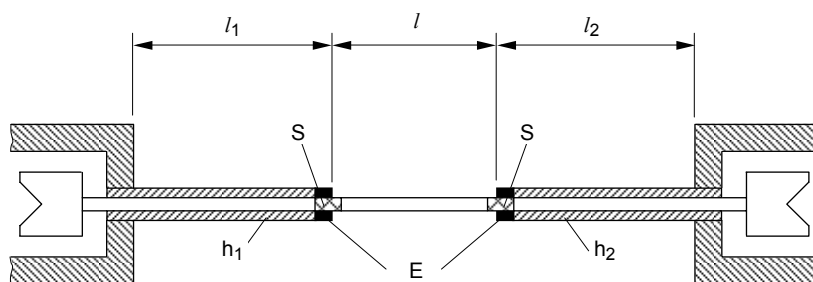


Figure 9 – Préparation du câble en essai (CUT)

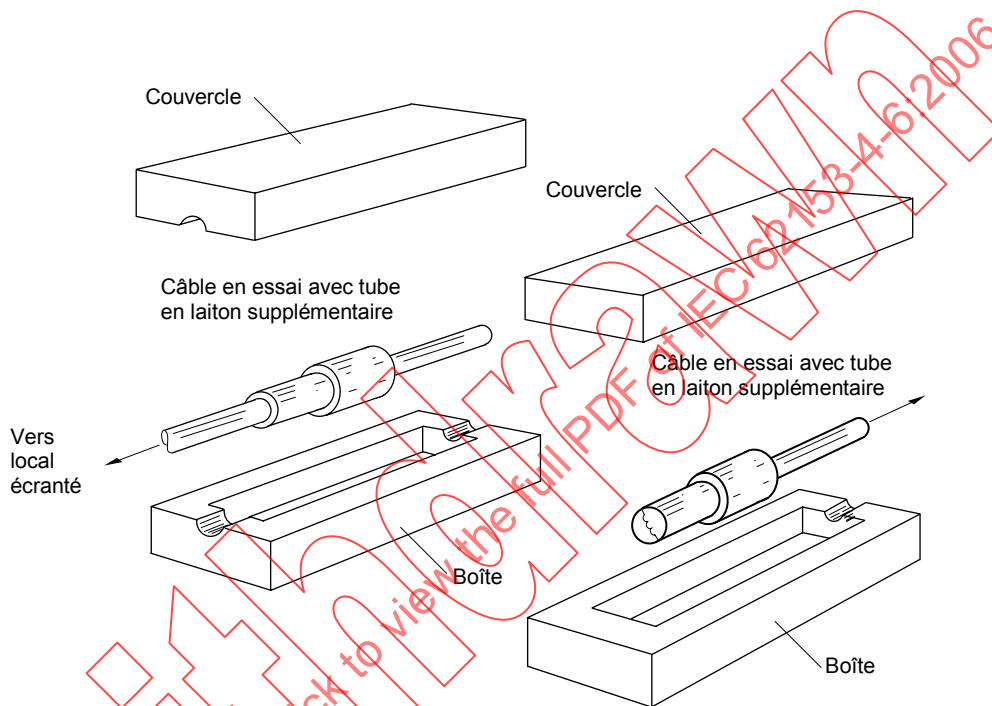


Figure 10 – Ecran supplémentaire des connecteurs sur le câble en essai (CUT)

6.2 Câbles symétriques sous écran

Les câbles symétriques sous écran sont traités comme un système quasi-coaxial. C'est pourquoi tous les conducteurs de toutes les paires doivent être connectés ensemble aux deux extrémités. Tous les écrans, y compris ceux des paires ou des quartes à écran individuel, doivent être connectés ensemble aux deux extrémités. Les écrans doivent être connectés sur toute la circonférence.

Le principe de préparation des échantillons symétriques est donné à la Figure 11.

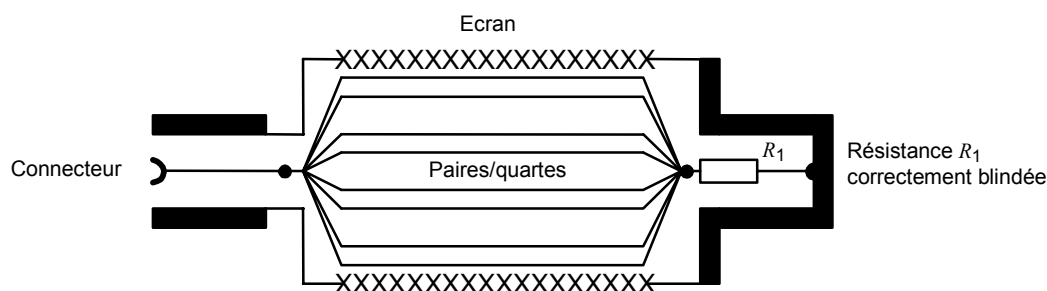


Figure 11 – Préparation des échantillons symétriques

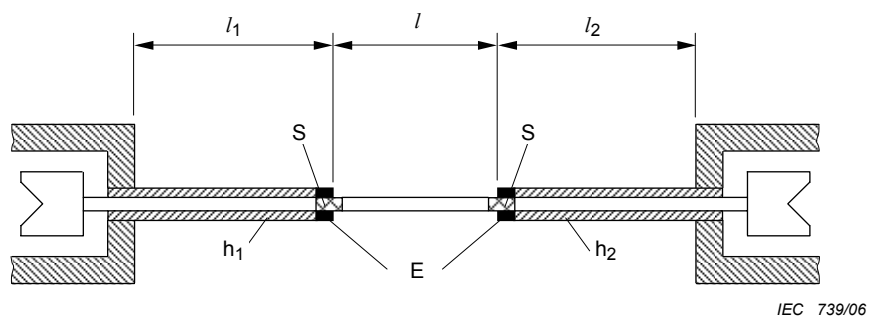


Figure 9 – Preparation of the cable under test (CUT)

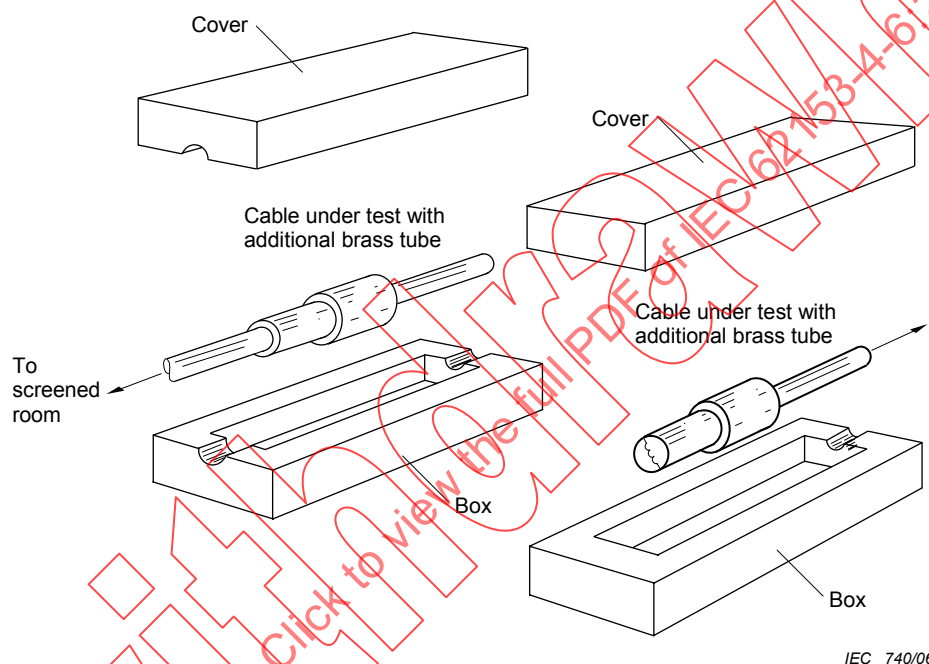


Figure 10 – Additional screening of connectors on the cable under test (CUT)

6.2 Screened symmetrical cables

Screened symmetrical cable are treated as a quasi coaxial system. Therefore all conductors of all pairs shall be connected together at both ends. All screens, including those of individually screened pairs or quads, shall be connected together at both ends. The screens shall be connected over the whole circumference.

The principle preparation of symmetrical samples is given in Figure 11.

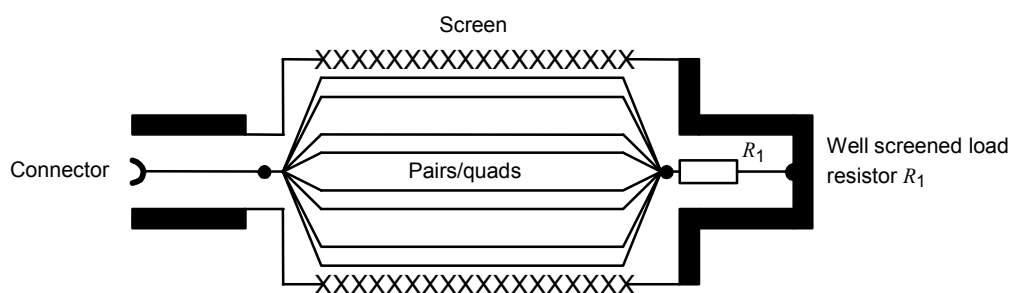


Figure 11 – Preparation of symmetrical samples