

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60512-25-7**

Première édition  
First edition  
2004-12

---

---

**Connecteurs pour équipements électroniques –  
Essais et mesures –**

**Partie 25-7:  
Essai 25g – Impédance, coefficient de réflexion,  
et rapport d'ondes stationnaires en tension  
(VSWR)**

**Connectors for electronic equipment –  
Tests and measurements –**

**Part 25-7:  
Test 25g – Impedance, reflection coefficient,  
and voltage standing wave ratio (VSWR)**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60512-25-7:2004

## 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](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://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](http://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](mailto: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](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://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](http://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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60512-25-7**

Première édition  
First edition  
2004-12

---

---

**Connecteurs pour équipements électroniques –  
Essais et mesures –**

**Partie 25-7:  
Essai 25g – Impédance, coefficient de réflexion,  
et rapport d'ondes stationnaires en tension  
(VSWR)**

**Connectors for electronic equipment –  
Tests and measurements –**

**Part 25-7:  
Test 25g – Impedance, reflection coefficient,  
and voltage standing wave ratio (VSWR)**

© IEC 2004 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 Varembe, 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

**W**

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	4
1 Domaine d'application .....	8
2 Termes et définitions .....	8
3 Ressources d'essai .....	10
3.1 Equipement .....	12
3.2 Dispositif de fixation .....	12
4 Epreuve d'essai .....	16
4.1 Description .....	16
5 Procédure d'essai .....	16
5.1 Domaine temporel .....	16
5.2 Domaine fréquentiel.....	20
6 Détails à spécifier .....	22
7 Documentation d'essai.....	24
Annexe A (normative) Temps de montée du système de mesure .....	26
Annexe B (informative) Détermination de l'extrémité proximale et de l'extrémité distale de l'éprouvette .....	32
Annexe C (informative) Normes d'étalonnage et tracés de référence de la carte d'essai .....	34
Annexe D (informative) Interprétation des graphiques d'impédance TDR .....	44
Annexe E (informative) Terminaisons électriques .....	50
Annexe F (informative) Guide pratique – temps de montée variable .....	56
Annexe G (informative) Considérations de conception de carte de circuit imprimé pour les mesures électroniques.....	58
Annexe H (informative) Matériel d'injection du signal d'essai .....	66
Figure A.1 – Exemple de points de mesure du temps de montée .....	26
Figure A.2 – Exemple de sortie TDR, 2 courbes (temps de montée différents) et points de l'éprouvette de début et de fin.....	28
Figure A.3 – Exemple de sortie d'analyseur, impédance par rapport au tracé logarithmique de fréquence .....	30
Figure C.1 – Fixation d'essai type carte mère .....	36
Figure C.2 – Fixation d'essai type carte fille.....	36
Figure C.3 – Exemple de tracé de référence proximale .....	42
Figure D.1 – Exemple d'un profil d'impédance d'un connecteur utilisant un temps de montée du système de mesure de 35 ps.....	46
Figure D.2 – Exemple de profils d'impédance de câble aux temps de montée de 35 ps et 1 ns .....	48
Figure E.1 – Adaptations asymétriques.....	52
Figure E.2 – Adaptations différentielles (symétriques).....	54
Figure G.1 – Géométries de microruban (a) et de ligne triplaque (b) .....	58
Figure G.2 – Géométrie de microruban enterré.....	60
Tableau 1 – Temps de montée supplémentaire du système de mesure (y compris dispositif de fixation et filtration) .....	18

## CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	9
2 Terms and definitions .....	9
3 Test resources.....	11
3.1 Equipment.....	13
3.2 Fixture.....	13
4 Test specimen .....	17
4.1 Description .....	17
5 Test procedure .....	17
5.1 Time domain .....	17
5.2 Frequency domain .....	21
6 Details to be specified.....	23
7 Test documentation .....	25
Annex A (normative) Measurement system rise time.....	27
Annex B (informative) Determination of the near end and far end of the specimen .....	33
Annex C (informative) Calibration standards and test board reference traces .....	35
Annex D (informative) Interpreting TDR impedance graphs.....	45
Annex E (informative) Terminations – Electrical.....	51
Annex F (informative) Practical guidance – variable rise time.....	57
Annex G (informative) Printed circuit board design considerations for electronics measurements .....	59
Annex H (informative) Test signal launch hardware .....	67
Figure A.1 – Example of rise-time measurement points .....	27
Figure A.2 – Example of TDR output; 2 curves (different rise times) and start and stop specimen points.....	29
Figure A.3 – Example of analyzer output, impedance versus log frequency plot.....	31
Figure C.1 – Typical mother-board test fixture .....	37
Figure C.2 – Typical daughter-board test fixture .....	37
Figure C.3 – Example of near-end reference trace.....	43
Figure D.1 – Example of an impedance profile of connector using a measurement system rise time of 35 ps.....	47
Figure D.2 – Example of impedance profiles of cable at the rise time of 35 ps and 1 ns .....	49
Figure E.1 – Single-ended terminations .....	53
Figure E.2 – Differential (balanced) terminations .....	55
Figure G.1 – Microstrip (a) and stripline (b) geometries .....	59
Figure G.2 – Buried microstrip geometry.....	61
Table 1 – Additional measurement system rise time (including fixture and filtering).....	19

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONNECTEURS POUR ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES –  
ESSAIS ET MESURES –**

**Partie 25-7: Essai 25g – Impédance, coefficient de réflexion,  
et rapport d’ondes stationnaires en tension (VSWR)**

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 60512-25-7 a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs, du comité d'études 48 de la CEI: Composants électromécaniques et structures mécaniques pour équipements électroniques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
48B/1479/FDIS	48B/1506/RVD

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

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**CONNECTORS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT –  
TESTS AND MEASUREMENTS –**
**Part 25-7: Test 25g – Impedance, reflection coefficient,  
and voltage standing wave ratio (VSWR)**

## 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 60512-25-7 has been prepared by subcommittee 48B: Connectors, of IEC technical committee 48: Electromechanical components and mechanical structures for electronic equipment.

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

FDIS	Report on voting
48B/1479/FDIS	48B/1506/RVD

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

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

La CEI 60512-25 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures*:

Partie 25-1: Essai 25a – Taux de diaphonie

Partie 25-2: Essai 25b – Atténuation (perte d'insertion)

Partie 25-3: Essai 25c – Dégradation du temps de montée

Partie 25-4: Essai 25d – Retard de propagation

Partie 25-5: Essai 25e – Affaiblissement de réflexion

Partie 25-6: Essai 25f – Diagramme de l'œil et gigue

Partie 25-7: Essai 25g – Impédance, coefficient de réflexion, et rapport d'ondes stationnaires en tension (VSWR)

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.

IEC 60512-25 consists of the following parts, under the general title *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements*:

- Part 25-1: Test 25a – Crosstalk ratio
- Part 25-2: Test 25b – Attenuation (insertion loss)
- Part 25-3: Test 25c – Rise time degradation
- Part 25-4: Test 25d – Propagation delay
- Part 25-5: Test 25e – Return loss
- Part 25-6: Test 25f – Eye pattern and jitter
- Part 25-7: Test 25g – Impedance, reflection coefficient, and voltage standing wave ratio (VSWR)

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.

## CONNECTEURS POUR ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES – ESSAIS ET MESURES –

### Partie 25-7: Essai 25g – Impédance, coefficient de réflexion, et rapport d'ondes stationnaires en tension (VSWR)

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60512 s'applique aux ensembles d'interconnexion, tels que les connecteurs électriques, et aux câbles équipés, dans le domaine d'application du comité d'études 48 de la CEI.

La présente norme décrit les méthodes d'essai pour mesurer l'impédance, le coefficient de réflexion, et le rapport d'ondes stationnaires en tension (VSWR) dans les domaines temporel et fréquentiel.

NOTE Ces méthodes d'essai sont rédigées pour les professionnels d'essai qui sont compétents dans le domaine de l'électronique et sont formés pour utiliser l'équipement référencé. Dans la mesure où les valeurs de mesure sont fortement influencées par la fixation et l'équipement, cette méthode ne peut décrire toutes les combinaisons possibles. Les principaux fabricants d'équipement fournissent des notes d'application pour une description technique plus approfondie relative à la façon d'optimiser l'utilisation de leur équipement. Il est impératif que le document de référence comporte la description et les croquis nécessaires afin que les professionnels d'essai puissent comprendre comment établir et réaliser les mesures nécessaires.

#### 2 Termes et définitions

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

##### 2.1

##### **temps de montée du système de mesure**

temps de montée mesuré avec le dispositif de fixation en place, sans l'échantillon, et avec filtration (ou normalisation). Le temps de montée est généralement mesuré des niveaux 10 % à 90 %

##### 2.2

##### **impédance d'environnement de l'éprouvette**

impédance présentée aux conducteurs de signaux par le dispositif de fixation. Cette impédance est un résultat des lignes de transmission, des résistances de terminaison, des récepteurs fixés ou des sources de signaux, et des parasites de fixation

##### 2.3

##### **coefficient de réflexion**

rapport des tensions réfléchie sur incidente à tout point donné. Le coefficient de réflexion est donné par:

$$\Gamma = \frac{V_{\text{réfléchie}}}{V_{\text{incidente}}} = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + Z_O} = s_{11}$$

où  $Z_L$  est l'impédance du dispositif de fixation ou de l'éprouvette et  $Z_O$  est l'impédance d'environnement de l'éprouvette.

NOTE Dans le domaine temporel, le symbole du coefficient de réflexion généralement utilisé est rho ( $\rho$ ), tandis que gamma ( $\Gamma$ ) est utilisé pour les mesures du domaine fréquentiel.

## CONNECTORS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT – TESTS AND MEASUREMENTS –

### Part 25-7: Test 25g – Impedance, reflection coefficient, and voltage standing wave ratio (VSWR)

#### 1 Scope and object

This part of IEC 60512 applies to interconnect assemblies, such as electrical connectors and cable assemblies, within the scope of IEC technical committee 48.

This standard describes test methods to measure impedance, reflection coefficient, and voltage standing wave ratio (VSWR) in the time and frequency domains.

NOTE These test methods are written for test professionals who are knowledgeable in the electronics field and are trained to use the referenced equipment. Because the measurement values are heavily influenced by the fixturing and equipment, this method cannot describe all of the possible combinations. The major equipment manufacturers provide application notes for a more in-depth technical description of how to optimize the use of their equipment. It is imperative that the referencing document include the necessary description and sketches for the test professional to understand how to set up and perform the requested measurements.

#### 2 Terms and definitions

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

##### 2.1

##### **measurement system rise time**

rise time measured with the fixture in place, without the specimen, and with filtering (or normalization). Rise time is typically measured from 10 % to 90 % levels

##### 2.2

##### **specimen environment impedance**

impedance presented to the signal conductors by the fixture. This impedance is a result of transmission lines, termination resistors, attached receivers or signal sources, and fixture parasitics

##### 2.3

##### **reflection coefficient**

ratio of the reflected to incident voltages at any given point. The reflection coefficient is given by

$$\Gamma = \frac{V_{\text{reflected}}}{V_{\text{incident}}} = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + Z_O} = s_{11}$$

where  $Z_L$  is the fixture or specimen impedance and  $Z_O$  is the specimen environment impedance.

NOTE In the time domain, the reflection coefficient symbol typically used is rho ( $\rho$ ), while gamma ( $\Gamma$ ) is used for frequency-domain measurements.

**2.4****impédance**

opposition totale offerte par un circuit au flux de courant alternatif à une fréquence particulière. Il s'agit de la combinaison de la résistance ( $R$ ) et de la réactance ( $X$ ) mesurée en ohms ( $\Omega$ ). L'équation pour l'impédance comme fonction des paramètres  $s$  est la suivante:

$$Z = Z_0 \frac{1 + s_{11}}{1 - s_{11}} = R + jX = Z_0 \left[ \frac{(1 + \rho)}{(1 - \rho)} \right]$$

**2.5****rapport d'ondes stationnaires en tension****VSWR**

rapport de l'amplitude maximale de la tension sur une ligne par rapport à l'amplitude minimale en tout point donné. Le rapport d'ondes stationnaires en tension peut être exprimé par les équations suivantes:

$$\text{VSWR} = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{|V_{\text{inc}} + V_{\text{refl}}|}{|V_{\text{inc}} - V_{\text{refl}}|}$$

ou

$$\text{VSWR} = \frac{(1 + |\Gamma|)}{(1 - |\Gamma|)}$$

**2.6****paramètre de diffusion (paramètre  $s$ )**

$s_{11}$

coefficient de réflexion à l'accès d'entrée du dispositif en essai, défini comme le rapport de la tension réfléchie sur la tension incidente

**2.7****terminaison (usage électronique)**

impédance connectée à l'extrémité d'une ligne de transmission, généralement pour réduire l'énergie réfléchie sur la ligne

**2.8****amplitude de palier**

différence de tension entre les niveaux 0 % et 100 %, ignorant le dépassement positif ou négatif

**3 Ressources d'essai**

Il convient de veiller à établir l'équivalence entre les mesures du domaine temporel et du domaine fréquentiel. La relation entre les deux est complexe et il convient que l'application de la largeur de bande = (0,35/temps de montée) ne soit pas utilisée sans davantage de calculs et de compréhension.

**2.4****impedance**

total opposition that a circuit offers to the flow of alternating current at a particular frequency. It is a combination of the resistance ( $R$ ) and reactance ( $X$ ) measured in ohms ( $\Omega$ ). The equation for impedance as a function of  $s$ -parameters is:

$$Z = Z_0 \frac{1 + s_{11}}{1 - s_{11}} = R + jX = Z_0 \left[ \frac{(1 + \rho)}{(1 - \rho)} \right]$$

**2.5****voltage standing wave ratio****VSWR**

ratio of the maximum magnitude of the voltage on a line to the minimum magnitude at any given point. VSWR can be expressed by the following equations:

$$\text{VSWR} = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{|V_{\text{inc}} + V_{\text{refl}}|}{|V_{\text{inc}} - V_{\text{refl}}|}$$

$$\text{VSWR} = \frac{(1 + |\Gamma|)}{(1 - |\Gamma|)}$$

**2.6****scattering parameter ( $s$ -parameter)** $s_{11}$ 

reflection coefficient at the input port of the device under test, defined as the ratio of the reflected voltage to the incident voltage

**2.7****termination (electronics usage)**

impedance connected to the end of a transmission line, typically to minimize reflected energy on the line

**2.8****step amplitude**

voltage difference between the 0 % and 100 % levels, ignoring overshoot and undershoot

**3 Test resources**

Care should be taken when establishing the equivalence between time- and frequency-domain measurements. The relationship between the two is complex, and the application of bandwidth = (0,35/rise time) should not be used without further computations and understanding.

### 3.1 Equipement

#### 3.1.1 Domaine temporel

**3.1.1.1** Un réflectomètre temporel (TDR) est préférentiel, dans la mesure où la précision de mesure est améliorée avec l'utilisation d'une fonction palier, bien qu'un oscilloscope et un générateur d'impulsions peuvent être utilisés. Un analyseur de réseau peut être utilisé avec le logiciel FFT (transformée rapide de Fourier).

NOTE Il convient que le professionnel d'essai soit conscient des limites de toute opération mathématique effectuée par un instrument (par exemple, transformée rapide de Fourier).

#### 3.1.1.2 Temps de montée variable

Il convient qu'un moyen soit fourni afin de varier le temps de montée du signal si nécessaire. Celui-ci peut être inclus dans l'équipement d'essai lui-même, ou éventuellement par filtration ou logiciel supplémentaires.

NOTE Il convient que le professionnel d'essai soit conscient des limites de toute opération mathématique effectuée par un instrument ou un logiciel, par exemple, la normalisation ou la filtration.

#### 3.1.1.3 Mesures différentielles

L'équipement d'essai doit avoir la capacité de réaliser directement des mesures différentielles, ou des dispositions doivent être élaborées afin de calculer l'impédance à partir de mesures multiples à extrémités simples.

#### 3.1.2 Domaine fréquentiel

**3.1.2.1** Un analyseur de réseau vectoriel ou un analyseur d'impédance doivent être utilisés.

NOTE 1 Il convient que le professionnel d'essai soit conscient des limites de fréquence du dispositif de fixation.

NOTE 2 Il convient que le professionnel d'essai soit conscient des limites de toutes les fonctions mathématiques réalisées (par exemple, la normalisation, la transformée rapide de Fourier inverse, ou la filtration du logiciel).

#### 3.1.2.2 Mesures différentielles

Pour les mesures différentielles, un analyseur de réseau et des symétriseurs peuvent être utilisés.

NOTE Il convient que le professionnel d'essai soit conscient des caractéristiques électriques des symétriseurs, qui font partie de la fixation d'essai et peuvent affecter la mesure de façon significative.

### 3.2 Dispositif de fixation

Le(s) dispositif(s) de fixation doit (doivent) permettre suffisamment de mesures à travers l'échantillon, de sorte que les variations de géométries, de matériaux, de trajets de transmission, etc., puissent être démontrées et qu'elles fournissent un échantillonnage représentatif de la performance de l'échantillon.

NOTE La géométrie du dispositif de fixation et les matériaux auront un impact sur les mesures en raison des parasites de fixation. En général, l'utilisation prévue du produit dicte la façon la plus significative de le fixer.

#### 3.2.1 Impédance d'environnement de l'éprouvette

Sauf spécification contraire dans le document de référence, l'impédance de l'environnement de l'éprouvette doit correspondre à l'impédance de l'équipement d'essai. Cela sera généralement 50  $\Omega$  pour les mesures à extrémités simples, et 100  $\Omega$  pour les mesures différentielles.

## 3.1 Equipment

### 3.1.1 Time domain

**3.1.1.1** A Time Domain Reflectometer (TDR) is preferred as the measurement accuracy is improved with the use of a step function, although an oscilloscope and pulse generator may be used. A network analyzer may be used with FFT (Fast Fourier Transform) software.

NOTE The test professional should be aware of limitations of any mathematical operation performed by an instrument (for example, FFT).

### 3.1.1.2 Variable rise time

A means should be provided for varying the signal rise time if required. This may be included within the test equipment itself, or possibly through additional filtering or software.

NOTE The test professional should be aware of limitations of any mathematical operation performed by an instrument or software; for example, normalization or filtering.

### 3.1.1.3 Differential measurements

The test equipment shall have the capability to perform differential measurements directly, or provisions shall be made to calculate the impedance from multiple single-ended measurements.

## 3.1.2 Frequency domain

**3.1.2.1** A vector network analyzer or impedance analyzer shall be used.

NOTE 1 The test professional should be aware of the frequency limitations of the fixture.

NOTE 2 The test professional should be aware of any limitations of any mathematical functions performed (for example, normalization, inverse FFT, or software filtering.)

### 3.1.2.2 Differential measurements

For differential measurements, a network analyzer and baluns may be used.

NOTE The test professional should be aware of the electrical characteristics of the baluns that become part of the test fixture and can significantly affect the measurement.

## 3.2 Fixture

The fixture(s) shall allow for enough measurements throughout the specimen so that variations in geometries, materials, transmission paths, etc. may be demonstrated and provide a representative sampling of specimen performance.

NOTE The fixture geometry and materials will impact the measurements due to the fixture parasitics. Usually, the intended use of the product dictates the most meaningful way to fixture it.

### 3.2.1 Specimen environment impedance

Unless otherwise specified in the referencing document, the specimen environment impedance shall match the impedance of the test equipment. Typically this will be 50  $\Omega$  for single-ended measurements and 100  $\Omega$  for differential measurements.

### 3.2.2 Terminaisons

Lorsque l'on utilise des résistances de terminaison, il convient de veiller à réduire les réactances parasites des dispositifs de terminaison sur la gamme des fréquences d'essai, voir Annexe E.

### 3.2.3 Caractéristiques d'étalonnage

Voir l'Annexe C pour les tracés d'étalonnage et de référence.

NOTE Le terme «étalonnage» utilisé dans le présent document ne doit pas être confondu avec l'étalonnage périodique de l'équipement d'usine. L'étalonnage est utilisé dans le sens de caractériser le dispositif de fixation, de sorte que lorsque la mesure «dispositif de fixation plus éprouvette» est prise, les caractéristiques de l'éprouvette seule peuvent être déterminées précisément.

#### 3.2.3.1 Domaine temporel

Le dispositif de fixation doit comporter des caractéristiques telles que les extrémités proximale et distale de l'éprouvette peuvent être déterminées en temps, voir l'Annexe B. Il convient que le plan d'étalonnage soit aussi près que possible de l'éprouvette. Lorsque le dispositif de fixation comporte une carte pc avec des tracés de ligne reliant deux connecteurs, il doit avoir un (des) tracé(s) de référence qui permettra (permettront) de mesurer le temps de montée du système. Le tracé de référence doit avoir des points de début et de fin au même endroit que le point de début et le point de fin du DEE (dispositif en essai). Cela s'explique par le fait que la longueur du(des) tracé(s) de référence doit être la même que celle des tracés de la carte pc.

#### 3.2.3.2 Domaine fréquentiel

Il est nécessaire d'inclure des caractéristiques de fixation qui permettront de prendre des mesures en circuit ouvert, en court-circuit et avec charge. Cela peut être réalisé par l'une de deux méthodes. Premièrement, fournir des tracés de référence qui comportent les normes en circuit ouvert, en court-circuit et avec charge. Deuxièmement, fournir une interface dans laquelle ces normes puissent être appliquées directement à l'extrémité du dispositif de fixation et immédiatement avant le plan d'entrée du dispositif en essai. Lorsque l'on utilise la méthode circuit ouvert/court-circuit, le dispositif de fixation doit comporter des caractéristiques telles que les mesures puissent être réalisées avec l'extrémité distale de la ligne de conduite à la fois en circuit ouvert et en court-circuit.

NOTE D'autres techniques d'étalonnage (telles que la ligne de réflexion transversale) peuvent être utilisées. Il convient que le dispositif de fixation comporte des caractéristiques appropriées à cette (ces) méthode(s) d'étalonnage.

### 3.2.4 Extrémités simples

Le dispositif de fixation doit permettre qu'une seule ligne de signal à la fois soit conduite. L'extrémité distale de la ligne de conduite doit être raccordée dans l'impédance d'environnement de l'éprouvette (généralement 50  $\Omega$ ). Il est recommandé qu'une longueur de ligne de transmission soit ajoutée après l'échantillon qui a un temps de propagation plus grand que deux fois le temps de montée du système de mesure. Sauf spécification contraire dans le document de référence:

- un rapport signal/masse 1:1 doit être utilisé;
- les lignes de masse désignées doivent être communes à la fois sur l'extrémité proximale et sur l'extrémité distale;
- les lignes de signal adjacentes doivent être raccordées dans l'impédance d'environnement de l'éprouvette.

### 3.2.2 Terminations

When using termination resistors, care should be taken to minimize the parasitic reactances of the terminators over the range of test frequencies (see Annex E).

### 3.2.3 Calibration features

See Annex C for calibration and reference traces.

NOTE The term “calibration” used in this document is not to be confused with the periodic factory equipment calibration. Calibration is used in the sense of characterizing the fixture so that when the “fixture plus specimen” measurement is taken, the characteristics of the specimen alone can be accurately determined.

#### 3.2.3.1 Time domain

The fixture shall include features such that the near and far ends of the specimen may be determined in time (see Annex B). The calibration plane should be as close to the specimen as possible. When the fixture includes a pc board with line traces connecting two connectors, it shall have a reference trace(s) that will allow the measurement system rise time to be measured. The reference trace shall have starting points and end points at the same location as the DUT (device under test) starting point and end point. This is because the reference trace(s) length shall be the same as the pc board traces.

#### 3.2.3.2 Frequency domain

It is necessary to include fixture features that will allow for the open, short, and load measurements to be taken. This may be accomplished by one of two methods. Firstly, provide reference traces that include the open, load and short standards. Secondly, provide an interface where these standards can be applied directly to the end of the fixture and immediately before the input plane of the device under test. When using the open/short method, the fixture shall include features such that measurements may be conducted with the far end of the driven line both open-circuited and short-circuited.

NOTE Other calibration techniques (such as through-reflect-line) may be used. The fixture should incorporate features appropriate to that (these) calibration method(s).

### 3.2.4 Single-ended

The fixture shall allow one signal line to be driven at a time. The far end of the driven line shall be terminated in the specimen environment impedance (typically 50  $\Omega$ ). It is recommended that a length of transmission line be added after the sample that has a propagation delay greater than twice the measurement system rise time. Unless otherwise specified in the referencing document,

- a 1:1 signal to ground ratio shall be used;
- designated ground lines shall be commoned on both the near and far end;
- adjacent signal lines shall be terminated in the specimen environment impedance.

### 3.2.5 Différentiel

Le dispositif de fixation doit permettre qu'une seule paire de signaux à la fois soit conduite. La paire conduite doit être raccordée dans l'impédance d'environnement de l'éprouvette (généralement 100  $\Omega$ ). Il est recommandé qu'une longueur de ligne de transmission soit ajoutée après l'éprouvette qui a un temps de propagation plus grand que deux fois le temps de montée du système de mesure. Sauf spécification contraire dans le document de référence:

- un rapport signal/masse 2:1 doit être utilisé (une paire de signaux pour chaque retour par la masse);
- les lignes de masse désignées doivent être communes à la fois sur l'extrémité proximale et sur l'extrémité distale;
- les lignes de signal adjacentes doivent être raccordées dans l'impédance d'environnement de l'éprouvette.

NOTE Pour des applications différentielles dans le domaine fréquentiel utilisant un analyseur de réseau à 2 accès, le dispositif de fixation inclura l'utilisation de symétriseurs.

## 4 Eprouvette d'essai

### 4.1 Description

Pour cette procédure d'essai, l'éprouvette d'essai doit être de la façon suivante:

#### 4.1.1 Connecteurs séparables

Une paire de connecteurs accouplés.

#### 4.1.2 Câble équipé

Connecteurs et câbles équipés, et connecteurs d'accouplement.

## 5 Procédure d'essai

### 5.1 Domaine temporel

**5.1.1** Etalonner l'équipement et le dispositif de fixation selon les techniques de mesure spécifiées par le fabricant en utilisant les normes et/ou le câblage d'impédance de précision. Le plan d'étalonnage doit être directement à l'interface d'entrée de l'éprouvette, voir 3.2.3.1 pour des informations plus détaillées.

**5.1.2** Connecter la (les) ligne(s) de signal TDR à la (aux) ligne(s) de référence de la fixation d'essai.

**5.1.3** Sauf spécification contraire dans le document de référence, le temps de montée du signal doit être le signal le plus rapide que l'équipement soit capable de réaliser. Si un temps de montée du signal plus lent est également désiré pour approcher les conditions d'application, l'un des temps de montée du Tableau 1 peut être utilisé. Mesurer et enregistrer le temps de montée du système de mesure à partir de la ligne de référence, comme l'illustre la Figure A.1.

### 3.2.5 Differential

The fixture shall allow one signal pair to be driven at a time. The driven pair shall be terminated in the specimen environment impedance (typically 100  $\Omega$ ). It is recommended that a length of transmission line be added after the specimen that has a propagation delay greater than twice the measurement system rise time. Unless otherwise specified in the referencing document,

- a 2:1 signal to ground ratio shall be used (one signal pair for each ground return);
- designated ground lines shall be commoned on both the near and far end;
- adjacent signal lines shall be terminated in the specimen environment impedance.

NOTE For differential applications in the frequency domain using a 2-port network analyzer, the fixture will include the use of baluns.

## 4 Test specimen

### 4.1 Description

For this test procedure, the test specimen shall be as follows.

#### 4.1.1 Separable connectors

A mated connector pair.

#### 4.1.2 Cable assembly

Assembled connectors and cables, and mating connectors.

## 5 Test procedure

### 5.1 Time domain

**5.1.1** Calibrate the equipment and fixture according to the manufacturer's specified measurement techniques using precision impedance standards and/or cabling. The calibration plane is to be directly at the input interface of the specimen (see 3.2.3.1 for more detailed information).

**5.1.2** Connect the TDR signal line(s) to the reference line(s) of the test fixture.

**5.1.3** Unless otherwise specified in the referencing document, the signal rise time shall be the fastest signal of which the equipment is capable. If a slower signal rise time is also desired to approximate the application conditions, one of the rise times in Table 1 may be used. Measure and record the measurement system rise time from the reference line, as shown in Figure A.1.

**Tableau 1 – Temps de montée supplémentaire du système de mesure (y compris dispositif de fixation et filtration)**

Temps de montée d'application type dans lequel l'éprouvette sera utilisée ps	Temps de montée du système de mesure ps
100 – 500	100
>500 – 1 000	500
> 1 000	1 000

**5.1.4** Mesurer, enregistrer, et tracer les paramètres nécessaires pour la fixation d'essai (impédance, coefficient de réflexion, et/ou tension). Si l'équipement n'a pas la capacité d'afficher directement le paramètre nécessaire, voir la définition applicable de l'Article 2 pour les équations de conversion.

**5.1.5** Connecter la (les) ligne(s) TDR à la (aux) ligne(s) de conduite du dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée.

**5.1.6** Placer l'éprouvette à 5 cm au minimum de tout objet susceptible d'introduire une erreur dans la mesure.

**5.1.7** Déterminer l'extrémité proximale et l'extrémité distale de l'éprouvette. L'Annexe B décrit une méthode permettant de déterminer l'extrémité proximale et l'extrémité distale de l'éprouvette.

**5.1.8** Afficher et enregistrer le paramètre électrique nécessaire sur l'équipement d'essai. Si l'équipement n'a pas la capacité d'afficher directement le paramètre nécessaire, voir la définition applicable de l'Article 2 pour les équations de conversion. Se référer à la Figure A.2 pour un exemple de tracé TDR, et à l'Annexe D pour des exemples d'interprétation des graphiques d'impédance TDR.

**5.1.8.1 Mesure à extrémités simples**

Régler l'équipement d'essai pour afficher la forme d'onde de la ligne de conduite du signal.

**5.1.8.2 Mesure différentielle**

Régler l'équipement d'essai pour afficher une forme d'onde représentant la différence entre les deux formes d'onde de la ligne de conduite du signal (généralement «Tracé 1 moins Tracé 2»).

NOTE Si cela n'est pas disponible dans l'équipement TDR, cette fonction mathématique peut être réalisée en rassemblant les données de tension brutes avec un système d'acquisition et en manipulant les données avec un logiciel approprié.

**5.1.9** Si cela est nécessaire, varier le temps de montée du système de mesure, et répéter de 5.1.2 à 5.1.8. Enregistrer les temps de montée du système de mesure avec les données correspondantes.

NOTE En variant les temps de montée du système de mesure, il convient que le professionnel d'essai soit conscient des limites de toute opération mathématique réalisée par un instrument (par exemple la normalisation ou la filtration du logiciel).

**5.1.10** Si nécessaire, répéter 5.1.5 à 5.1.9 pour les lignes multiples à travers l'éprouvette.

**Table 1 – Additional measurement system rise time  
(including fixture and filtering)**

Typical application rise time in which the specimen will be used ps	Measurement system rise time ps
100 – 500	100
>500 – 1 000	500
> 1 000	1 000

**5.1.4** Measure, record, and plot the requested parameters for the test fixture (impedance, reflection coefficient, and/or voltage). If the equipment does not have the capability to display the requested parameter directly, see the applicable definition in Clause 2 for conversion equations.

**5.1.5** Connect the TDR line(s) to the driven line(s) of the fixture with the specimen installed.

**5.1.6** Place the specimen a minimum of 5 cm from any objects that may introduce error into the measurement.

**5.1.7** Determine the near end and far end of the specimen. Annex B describes a method for determining the near and far end of the specimen.

**5.1.8** Display and record the requested electrical parameter on the test equipment. If the equipment does not have the capability to display the requested parameter directly, see the applicable definition in Clause 2 for conversion equations. Refer to Figure A.2 for an example of a TDR plot, and Annex D for examples of interpreting TDR impedance graphs.

#### **5.1.8.1 Single-ended measurement**

Set the test equipment to display the driven signal line waveform.

#### **5.1.8.2 Differential measurement**

Set the test equipment to display a waveform representing the difference between the two driven signal line waveforms, (typically, “Trace 1 minus Trace 2”).

NOTE If not available within the TDR equipment, this mathematical function may be accomplished by collecting the raw voltage data with an acquisition system and manipulating the data with appropriate software.

**5.1.9** When required, vary the measurement system rise time and repeat 5.1.2 through 5.1.8. Record the measurement system rise times with the corresponding data.

NOTE When varying measurement system rise times, the test professional should be aware of limitations of any math operation performed by an instrument (for example, normalization or software filtering).

**5.1.10** If requested, repeat 5.1.5 through 5.1.9 for multiple lines throughout the specimen.

## 5.2 Domaine fréquentiel

### 5.2.1 Généralités

**5.2.1.1** Etalonner l'équipement et le dispositif de fixation selon les spécifications du fabricant en utilisant les normes et/ou le câblage d'impédance de précision. Le plan d'étalonnage doit être directement à l'interface d'entrée de l'éprouvette, voir 3.2.3.2 pour des informations plus détaillées.

NOTE On rappelle au professionnel d'essai qu'il convient que l'étalonnage soit réalisé dans le mode à utiliser pour les mesures, par exemple,  $s_{11}$ .

#### 5.2.1.2 Mesure du dispositif de fixation

Régler l'analyseur pour une mesure à accès unique (ou comparable). Sélectionner le mode d'affichage pour le paramètre désiré (impédance, coefficient de réflexion, affaiblissement de réflexion, rapport d'ondes stationnaires en tension), comme spécifié dans le document de référence. Si l'on utilise un analyseur de réseau, mesurer et enregistrer  $s_{11}$ . Se référer à la Figure A.3 pour un exemple de tracé d'analyseur de réseau. Il est recommandé que les réglages d'équipement suivants soient utilisés:

- tracés cartésiens avec une échelle de fréquence logarithmique et un axe linéaire Y;
- un minimum de 201 points de mesure;
- lissage maximal de 1 %.

Si l'équipement n'a pas la capacité d'afficher directement le paramètre nécessaire, voir la définition applicable de l'Article 2 pour les équations de conversion.

### 5.2.2 Mesure de l'éprouvette – méthode directe

**5.2.2.1** Connecter la (les) ligne(s) d'analyseur à la (aux) ligne(s) de conduite du dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée. Raccorder l'extrémité distale de l'éprouvette d'essai dans l'impédance d'environnement de l'éprouvette.

**5.2.2.2** Placer l'éprouvette à 5 cm au minimum de tout objet susceptible d'introduire une erreur dans la mesure.

**5.2.2.3** Mesurer et enregistrer les valeurs de paramètre nécessaires sur la gamme de fréquence d'essai spécifiée ou les fréquences discrètes. Si l'équipement n'a pas la capacité d'afficher directement le paramètre nécessaire, voir la définition applicable de l'Article 2 pour les équations de conversion.

**5.2.2.4** Si nécessaire, répéter 5.2.2.1 à 5.2.2.3 sur les lignes multiples à travers l'éprouvette.

**5.2.2.5** Lorsque des mesures supplémentaires avec des fréquences ou des gammes d'essai différentes sont nécessaires, réaliser le palier d'étalonnage défini en 5.2.1.1, puis répéter 5.2.2.1 à 5.2.2.4 si cela est nécessaire.

### 5.2.3 Mesure de l'éprouvette – méthode circuit ouvert/court-circuit

**5.2.3.1** Connecter la (les) ligne(s) d'analyseur à la (aux) ligne(s) de conduite du dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée.

**5.2.3.2** Placer l'éprouvette à 5 cm au minimum de tout objet susceptible d'introduire une erreur dans la mesure.

## 5.2 Frequency domain

### 5.2.1 General

**5.2.1.1** Calibrate the equipment and fixture according to the manufacturer's specifications using precision impedance standards and/or cabling. The calibration plane is to be directly at the input interface of the specimen (see 3.2.3.2 for more detailed information).

NOTE The test professional is reminded that the calibration should be performed in the mode to be used for the measurements, for example,  $s_{11}$ .

### 5.2.1.2 Fixture measurement

Set the analyzer for a single port (or comparable) measurement. Select the display mode for the desired parameter (impedance, reflection coefficient, return loss, VSWR) as specified in the referencing document. If using a network analyzer, measure and record  $s_{11}$ . Refer to Figure A.3 for an example of a network analyzer plot. It is recommended that the following equipment settings be used:

- cartesian plots with a logarithmic frequency scale and linear Y-axis;
- minimum of 201 measurement points;
- maximum smoothing of 1 %.

If the equipment is not capable of displaying the requested parameter directly, see the applicable definition in Clause 2 for conversion equations.

### 5.2.2 Specimen measurement – Direct method

**5.2.2.1** Connect the analyzer line(s) to the driven line(s) of the fixture with the specimen installed. Terminate the far end of the test specimen in the specimen environment impedance.

**5.2.2.2** Place the specimen a minimum of 5 cm from any object that may introduce error into the measurement.

**5.2.2.3** Measure and record the requested parameter values over the specified test frequency range or discrete frequencies. If the equipment is not capable of displaying the requested parameter directly, see the applicable definition in Clause 2 for conversion equations.

**5.2.2.4** If requested, repeat 5.2.2.1 through 5.2.2.3 on multiple lines throughout the specimen.

**5.2.2.5** When additional measurements with different test frequencies or ranges are required, perform the calibration step defined in 5.2.1.1, then repeat 5.2.2.1 through 5.2.2.4 as necessary.

### 5.2.3 Specimen measurement – Open/short method

**5.2.3.1** Connect the analyzer line(s) to the driven line(s) of the fixture with the specimen installed.

**5.2.3.2** Place the specimen a minimum of 5 cm from any object that may introduce error into the measurement.

**5.2.3.3** Placer un circuit ouvert à l'extrémité distale de l'éprouvette. Mesurer et enregistrer l'impédance en circuit ouvert,  $Z_{OC}$ .

**5.2.3.4** Placer un court-circuit à l'extrémité distale de l'éprouvette. Mesurer et enregistrer l'impédance de court-circuit,  $Z_{SC}$ .

**5.2.3.5** Calculer l'impédance en utilisant l'équation suivante:

$$Z = \sqrt{Z_{OC} \times Z_{SC}}$$

**5.2.3.6** En utilisant cette valeur d'impédance calculée, il est possible de calculer d'autres paramètres électriques, tels que le coefficient de réflexion, le rapport d'ondes stationnaires en tension, et l'affaiblissement de réflexion en utilisant les équations de l'Article 2.

**5.2.3.7** Si nécessaire, répéter 5.2.3.1 à 5.2.3.6 sur les lignes multiples à travers l'éprouvette.

**5.2.3.8** Lorsque des mesures supplémentaires avec des fréquences ou des gammes d'essai différentes sont nécessaires, réaliser le palier d'étalonnage défini en 5.2.1.1, puis répéter 5.2.3.1 à 5.2.3.7 si cela est nécessaire.

## 6 Détails à spécifier

Les détails suivants doivent être spécifiés dans le document de référence.

- a) Paramètre(s) électrique(s) à mesurer tels que l'impédance, le coefficient de réflexion, et/ou le rapport d'ondes stationnaires en tension.
- b) Temps de montée du système de mesure (si différent du plus rapide dont l'équipement est capable) ou fréquences d'essai.
- c) Toute prescription particulière en fonction de la construction du dispositif de fixation et de la terminaison et des propriétés électriques.
- d) Mesures à extrémités simples ou différentielles.
- e) Configuration signal/masse, y compris le nombre et l'emplacement des signaux et des lignes de masse. Il est recommandé que suffisamment d'emplacements à l'intérieur de l'éprouvette soient mesurés, afin de prendre en compte les impédances variables à l'intérieur de l'éprouvette.
- f) Impédance d'environnement de l'éprouvette si différente de 50  $\Omega$  pour les mesures à extrémités simples, et 100  $\Omega$  pour les mesures différentielles.
- g) Tout tracé désiré, par exemple, tracés TDR, graphiques paramètre par rapport à fréquence, ou graphiques de Smith.
- h) Valeurs minimales, maximales, ou moyennes du (des) paramètre(s) de domaine temporel mesurées ou calculées pour l'éprouvette (lorsque des valeurs moyennes sont nécessaires, les valeurs minimales et maximales doivent être également consignées).
- i) Valeurs minimales, maximales, ou moyennes du (des) paramètre(s) de domaine fréquentiel mesurées ou calculées pour l'éprouvette sur une gamme de fréquence désirée ou à des fréquences spécifiques (lorsque des valeurs moyennes sont nécessaires, les valeurs minimales et maximales doivent être également consignées).

**5.2.3.3** Place an open circuit at the far end of the specimen. Measure and record the open-circuit impedance,  $Z_{OC}$ .

**5.2.3.4** Place a short circuit at the far end of the specimen. Measure and record the short-circuit impedance,  $Z_{SC}$ .

**5.2.3.5** Calculate the impedance using the following equation:

$$Z = \sqrt{Z_{OC} \times Z_{SC}}$$

**5.2.3.6** Using this calculated impedance value, it is possible to calculate other electrical parameters, such as reflection coefficient, VSWR, and return loss using the equations found in Clause 2.

**5.2.3.7** If requested, repeat 5.2.3.1 through 5.2.3.6 on multiple lines throughout the specimen.

**5.2.3.8** When additional measurements with different test frequencies or ranges are required, perform the calibration step defined in 5.2.1.1, then repeat 5.2.3.1 through 5.2.3.7 as necessary.

## 6 Details to be specified

The following details shall be specified in the referencing document.

- a) Electrical parameter(s) to be measured such as impedance, reflection coefficient, and/or VSWR.
- b) Measurement system rise time(s) (if other than the fastest of which the equipment is capable) or test frequencies.
- c) Any special requirements with respect to fixture and termination construction and electrical properties.
- d) Single-ended or differential measurements.
- e) Signal/ground pattern, including the number and location of signal and grounds. It is recommended that enough locations within the specimen be measured to take into account the varying impedances within the specimen.
- f) Specimen environment impedance if other than 50  $\Omega$  for single-ended and 100  $\Omega$  for differential.
- g) Any desired plots; for example, TDR traces, parameter versus frequency graphs, or Smith charts.
- h) Minimum, maximum, or average values of the time domain parameter(s) measured or calculated for the specimen. (When average values are requested, the minimum and maximum values shall also be reported.)
- i) Minimum, maximum, or average values of the frequency domain parameter(s) measured or calculated for the specimen over a desired frequency range or at specific frequencies. (When average values are requested, the minimum and maximum values shall also be reported.)

## 7 Documentation d'essai

La documentation doit comporter les détails spécifiés à l'Article 6, avec toutes les exceptions, et les éléments suivants.

- a) Titre de l'essai.
- b) Equipement d'essai utilisé, et date du dernier et du prochain étalonnage.
- c) Méthode utilisée, domaine temporel ou domaine fréquentiel. Si domaine fréquentiel, si la méthode de circuit direct ou circuit ouvert/court-circuit a été utilisée.
- d) Valeurs et observations.
- e) Graphiques représentatifs, si disponibles.
- f) Nom de l'opérateur et date de l'essai.

## 7 Test documentation

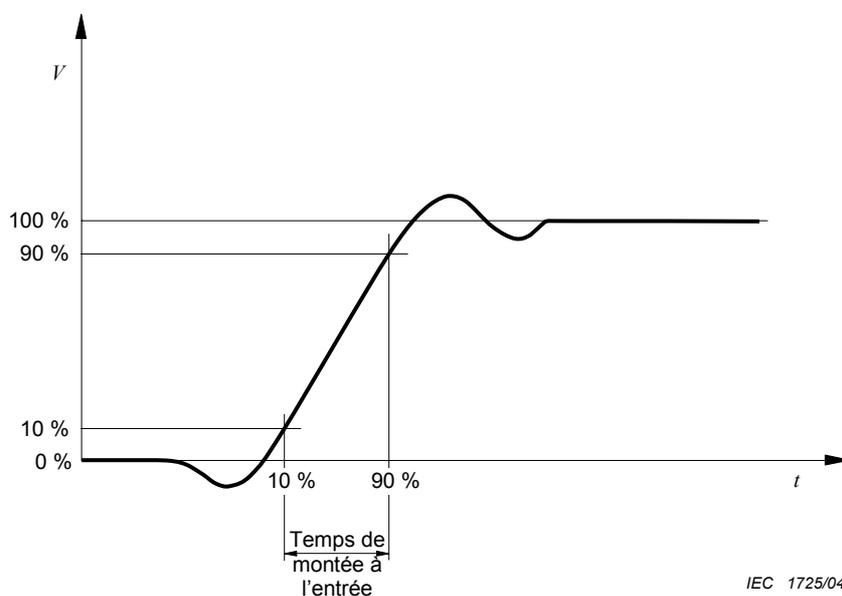
Documentation shall contain the details specified in Clause 6, with any exceptions, and the following.

- a) Title of test.
- b) Test equipment used, and date of last and next calibration.
- c) Method used, time domain or frequency domain. If frequency domain, if direct or open/short method was used.
- d) Values and observations.
- e) Representative graphs, if available.
- f) Name of operator and date of test.

## Annexe A (normative)

### Temps de montée du système de mesure

En déterminant le temps de montée du système de mesure, il est recommandé que l'échelle de temps sur le TDR ou l'oscilloscope soit réglé sur une longue durée par réglage de division. Cela permet d'assurer que les effets de toute oscillation ou autre perturbation à court terme ne déforment pas les niveaux 0 % et 100 % mesurés.



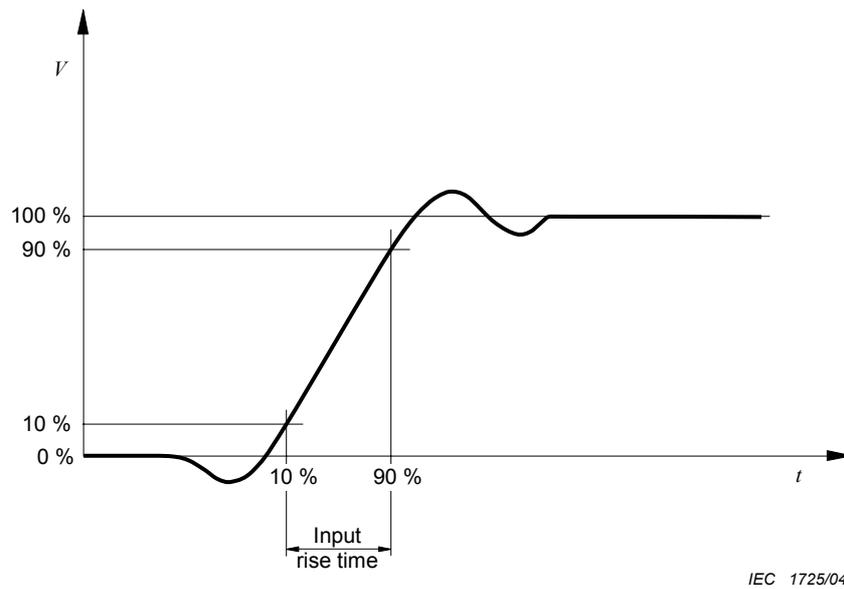
NOTE Ignorer le dépassement positif ou négatif en calculant les niveaux 0 % et 100 %.

Figure A.1 – Exemple de points de mesure du temps de montée

## Annex A (normative)

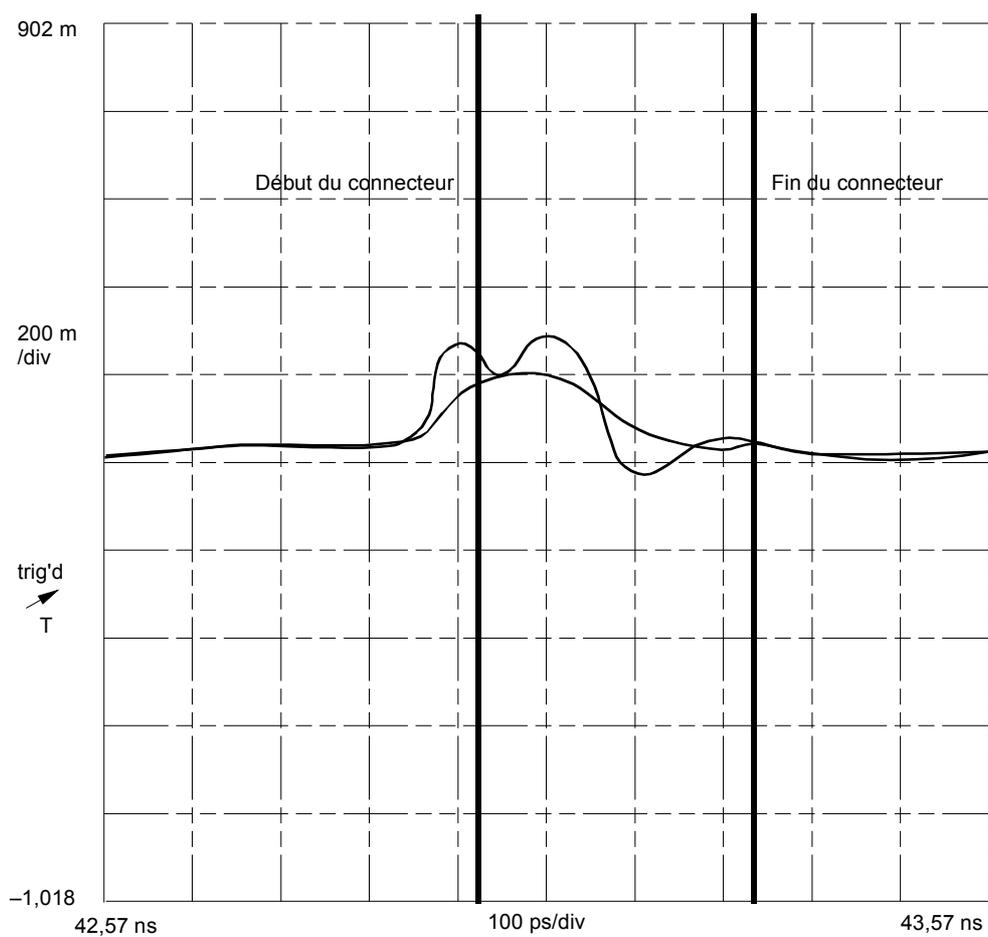
### Measurement system rise time

When determining the measurement system rise time, it is recommended that the time scale on the TDR or oscilloscope be set to a large time per division setting. This is to ensure that the effects of any ringing or other short-term disturbances do not distort the measured 0 % and 100 % levels.



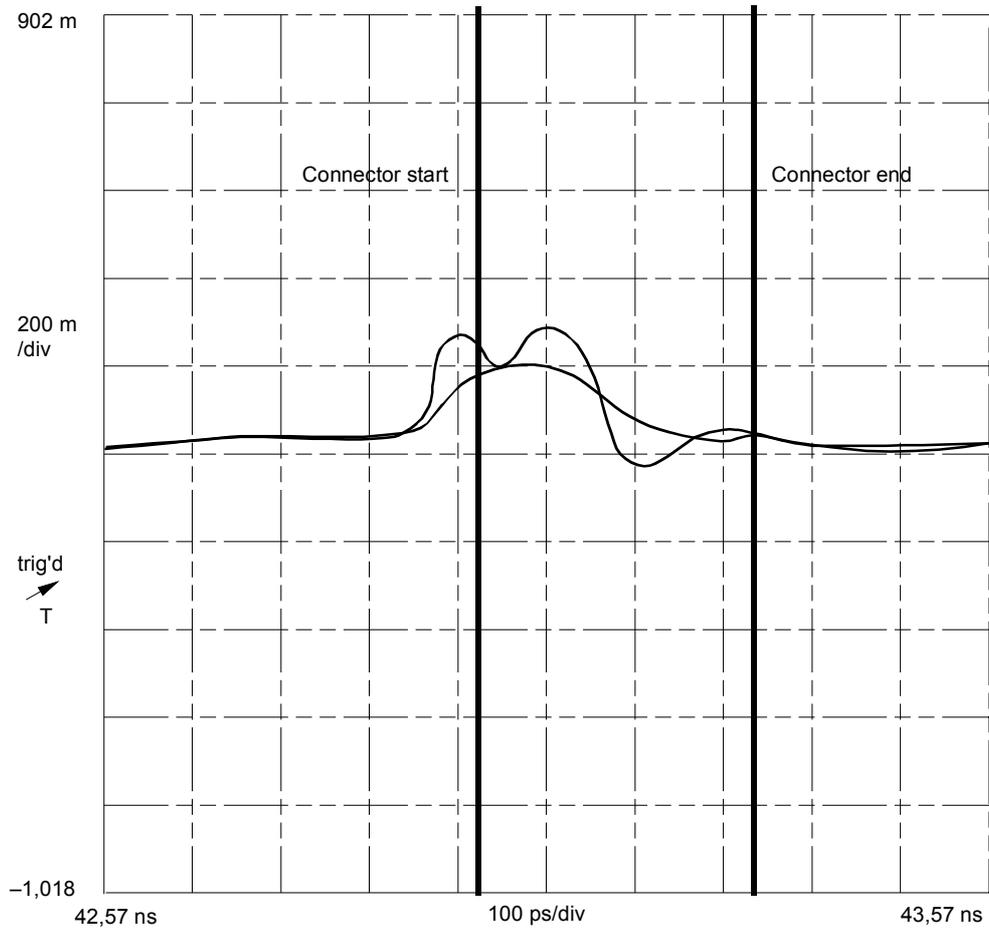
NOTE Ignore overshoot and undershoot when calculating 0 % and 100 % levels.

**Figure A.1 – Example of rise-time measurement points**



IEC 1726/04

**Figure A.2 – Exemple de sortie TDR, 2 courbes (temps de montée différents) et points de l'éprouvette de début et de fin**



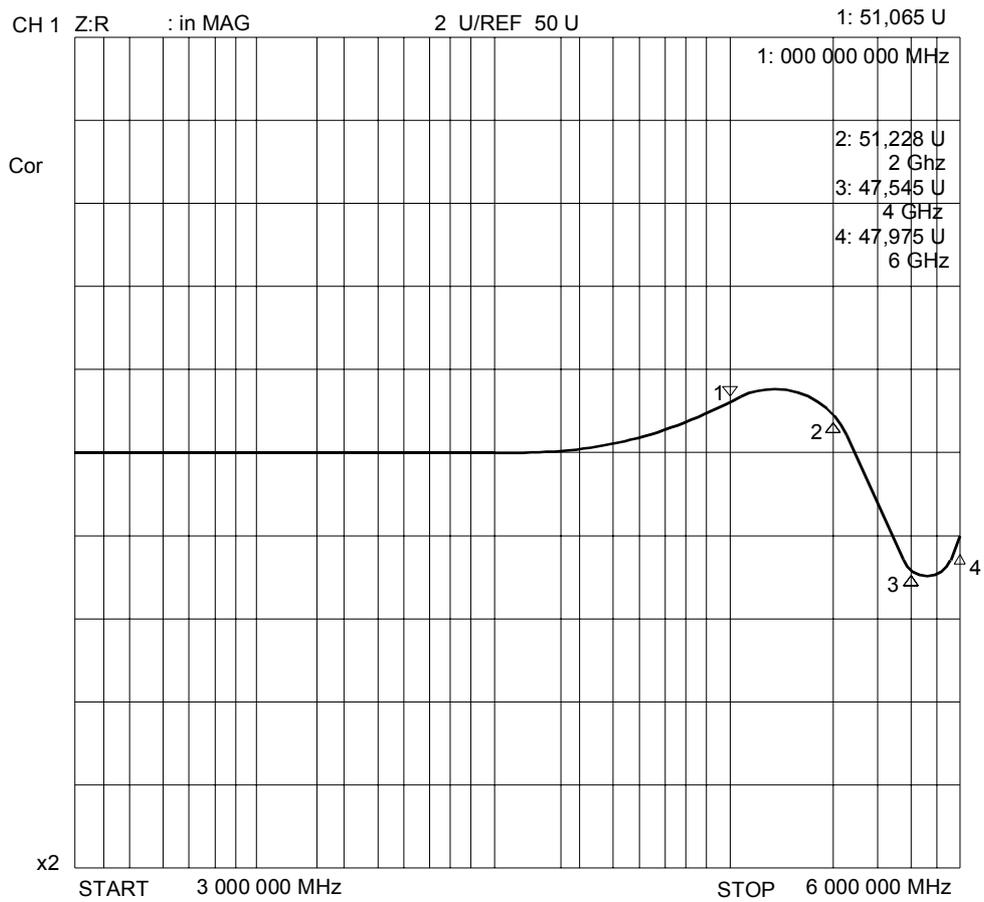
**Figure A.2 – Example of TDR output; 2 curves (different rise times) and start and stop specimen points**

IEC 1726/04



IEC 1727/04

**Figure A.3 – Exemple de sortie d’analyseur, impédance par rapport au tracé logarithmique de fréquence**



IEC 1727/04

Figure A.3 – Example of analyzer output, impedance versus log frequency plot

## **Annexe B** (informative)

### **Détermination de l'extrémité proximale et de l'extrémité distale de l'éprouvette**

**B.1** En réalisant certaines mesures, il est important d'être capable de déterminer l'extrémité proximale («début») et l'extrémité distale («fin») de l'éprouvette en temps dans la fixation d'essai. L'extrémité proximale («début») et l'extrémité distale («fin») de l'éprouvette peuvent être déterminées en mesurant le temps de propagation de l'extrémité proximale du dispositif de fixation uniquement, le temps de propagation de l'extrémité distale du dispositif de fixation uniquement, et le temps de propagation du dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée. Cette méthode est utile lorsqu'un dispositif de fixation à carte de circuit imprimé est utilisé.

**B.2** Connecter l'équipement TDR au tracé de référence proximal, comme décrit en C.2.1.1. Observer le moment sur l'étendue où le tracé d'impédance TDR chute brusquement. Enregistrer ce temps comme l'emplacement en temps de l'extrémité proximale de l'éprouvette.

**B.3** Connecter l'équipement TDR au dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée, et mesurer le temps de propagation.

**B.4** Connecter l'équipement TDR au tracé de référence de l'extrémité distale, comme décrit en C.2.1.1. Observer le moment sur l'étendue où le tracé d'impédance TDR chute brusquement. L'emplacement en temps de l'extrémité distale de l'éprouvette est le temps de propagation du dispositif de fixation, avec l'éprouvette installée moins cette valeur.

NOTE En «mode TDR», le temps de propagation affiché est deux fois la valeur réelle. En «mode TDT», le temps de propagation affiché est égal à la valeur réelle.

## **Annex B** (informative)

### **Determination of the near end and far end of the specimen**

**B.1** When making certain measurements, it is important to be able to determine the near end ('start') and far end ('stop') of the specimen in time within the test fixture. The near end ('start') and far end ('stop') of the specimen may be determined by measuring the propagation delay of the near end of the fixture alone, the propagation delay of the far end of the fixture alone, and the propagation delay of the fixture with the specimen installed. This method is useful when a printed circuit board fixture is used.

**B.2** Connect the TDR equipment to the near-end reference trace as described in C.2.1.1. Observe the time on the scope at which the TDR impedance trace sharply drops. Record this time as the location in time of the near end of the specimen.

**B.3** Connect the TDR equipment to the fixture with the specimen installed and measure the propagation delay.

**B.4** Connect the TDR equipment to the far end reference trace as described in C.2.1.1. Observe the time on the scope at which the TDR impedance trace sharply drops. The location in time of the far end of the specimen is the propagation delay of the fixture with the specimen installed minus this value.

NOTE In "TDR mode" the propagation delay displayed is twice the actual value. In "TDT mode" the propagation delay displayed is equal to the actual value.

## **Annexe C** (informative)

### **Normes d'étalonnage et tracés de référence de la carte d'essai**

#### **C.1 Normes d'étalonnage**

**C.1.1** Pour l'étalonnage de l'équipement, il convient qu'une norme d'impédance d'étalonnage offrant toute traçabilité soit utilisée pour une ligne de base de référence. Il convient qu'un étalonnage spécifique de l'équipement soit réalisé selon les instructions du fabricant. Cependant, il convient de veiller à établir le bien fondé des normes ou autres dispositifs de fixation utilisés pour la procédure d'étalonnage.

NOTE Le terme «étalonnage» utilisé dans le présent document ne doit pas être confondu avec l'étalonnage périodique de l'équipement d'usine. L'étalonnage est utilisé dans le sens de caractériser le dispositif de fixation, de sorte que lorsque la mesure «dispositif de fixation plus éprouvette» est prise, les caractéristiques de l'éprouvette seule peuvent être déterminées précisément.

**C.1.2** Lorsque cela est possible, il convient que le dispositif de fixation soit conçu pour permettre la fixation du calibre aussi près que possible de l'éprouvette. Les réflexions des imperfections du dispositif de fixation augmentent l'erreur de mesure.

**C.1.3** Il convient que les cartes d'essai de circuit imprimé ne soient pas utilisées comme des normes d'étalonnage. En raison de différentes technologies de cartes de circuit imprimé, du contrôle de fabrication et des variations de matériaux, il devient difficile d'assurer que différentes conceptions de cartes ou techniques de fabrication auront la même référence d'étalonnage pour les mesures d'impédance. La valeur d'impédance des «tracés d'impédance contrôlés» sur une carte de circuit imprimé est généralement  $\pm 10\%$  ou  $\pm 5\%$  de la valeur cible. En termes de mesures et d'applications, cela peut être une tolérance acceptable à maintenir, cependant, pour l'étalonnage, il convient que cela ne soit pas utilisé comme une ligne de base.

#### **C.2 Tracés de référence de la carte d'essai**

L'utilisation de la terminaison normalisée offrant toute traçabilité à l'extrémité du câble d'essai permettra aux effets de la carte de circuit imprimé de la fixation d'essai d'être mesurés plus précisément. Le professionnel d'essai sera capable de mesurer précisément l'impédance ou la caractéristique de transmission du dispositif de fixation à carte de circuit imprimé, et ne permettra pas à l'équipement d'essai d'essayer de compenser toute discontinuité de fixation.

Les Figures C.1 et C.2 présentent des cartes d'essai à extrémités simples pour un connecteur carte à carte en utilisant les structures de tracé d'étalonnage SOLT. L'étalonnage utilisant d'autres méthodes, par exemple la Ligne de Réflexion Transversale, nécessitera des structures différentes.

## Annex C (informative)

### Calibration standards and test board reference traces

#### C.1 Calibration standards

**C.1.1** For the equipment calibration, a traceable calibration impedance standard should be used for a reference baseline. Specific equipment calibration should be performed according to the manufacturer's instructions. However, care should be taken as to what standards or other fixtures are used for the calibration procedure.

NOTE The term "calibration" used in this document is not to be confused with the periodic factory equipment calibration. Calibration is used in the sense of characterizing the fixture so that when the "fixture plus specimen" measurement is taken, the characteristics of the specimen alone can be accurately determined.

**C.1.2** When possible, the fixture should be designed to allow the attachment of the calibration standard as close to the specimen as possible. Reflections from fixture imperfections increase measurement error.

**C.1.3** Printed circuit test boards should not be used as calibration standards. Because of different printed circuit-board technologies, fabrication control, and material variations, it becomes difficult to insure that different board designs or fabrication techniques will have the same calibration reference for the impedance measurements. The impedance value of "controlled impedance traces" on a printed circuit-board is typically  $\pm 10\%$  or  $\pm 5\%$  of the target value. In measurements and applications, this may be an acceptable tolerance to hold; however, for calibration purposes, this should not be used as a baseline.

#### C.2 Test board reference traces

The use of the traceable standard termination at the end of the test cable will allow the test fixture printed circuit-board effects to be measured more accurately. The test professional will be able to accurately measure the impedance or transmission characteristic of the printed circuit-board fixture, and not allow the test equipment to try to compensate for any fixture discontinuities.

Figures C.1 and C.2 show single-ended test boards for a board-to-board connector using SOLT calibration trace structures. Calibration using other methods, for example, TRL, will require different structures.

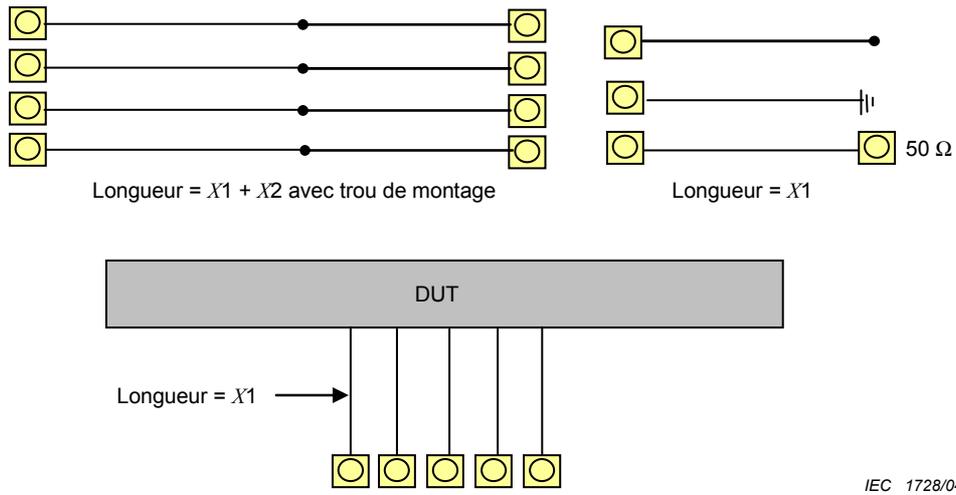
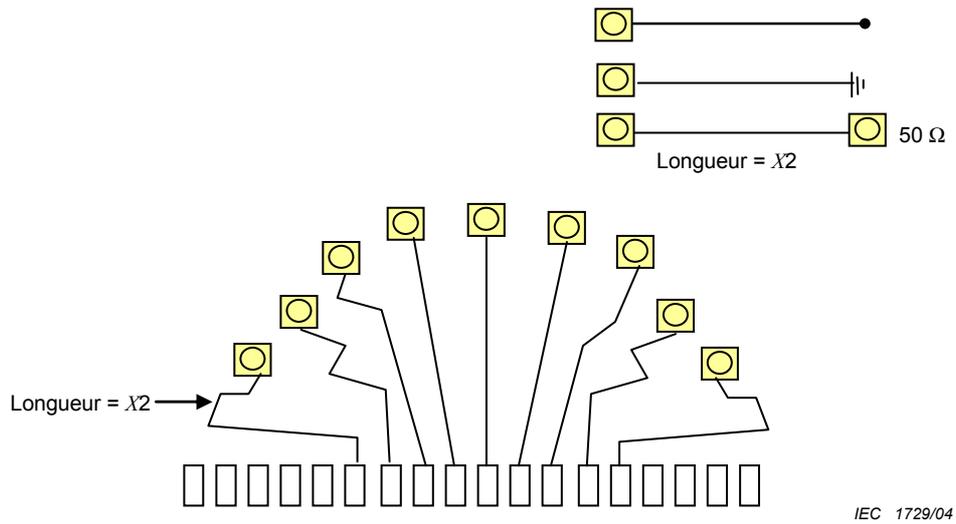
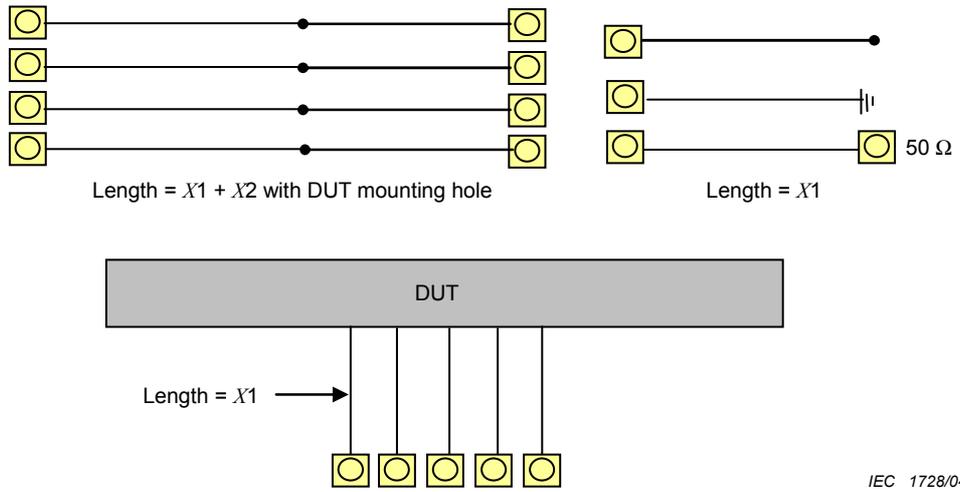


Figure C.1 – Fixation d'essai type carte mère

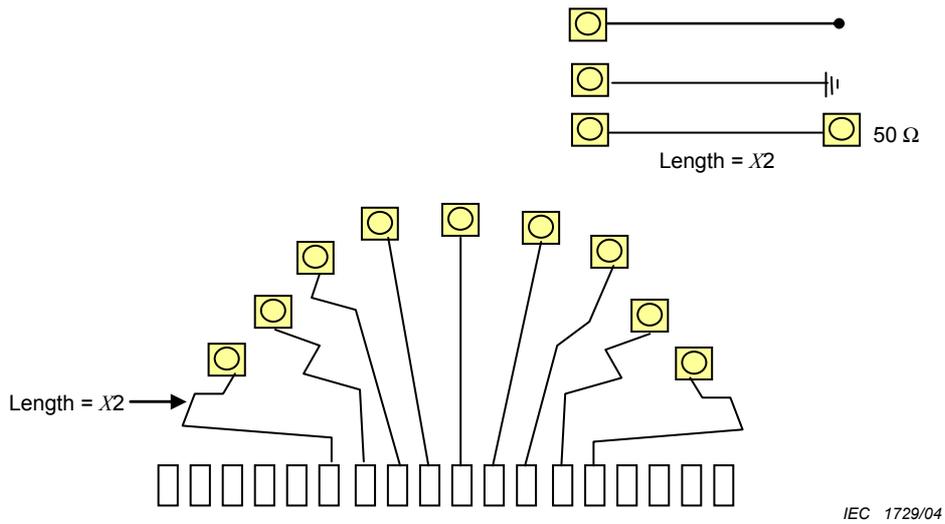


NOTE Les tracés de conducteurs ne sont pas faits avec des angles aigus. Ils sont simplement présentés de la façon suivante afin d'illustrer des tracés de longueur de conception équivalente.

Figure C.2 – Fixation d'essai type carte fille



**Figure C.1 – Typical mother-board test fixture**



NOTE Conductor traces are not made with sharp corners. They are only shown this way to illustrate designing equivalent length traces.

**Figure C.2 – Typical daughter-board test fixture**

### C.2.1 Domaine temporel

Les cartes d'essai doivent comporter des tracés de référence pour mesurer le temps de montée du système de mesure et l'amplitude du signal de palier du système TDR, incluant les effets de la fixation d'essai, ainsi que la source du signal TDR et les temps de réponse de la tête d'échantillonnage. Il est à noter que l'utilisation de cette amplitude de palier mesurée pour la normalisation des réflexions de connecteurs corrigera certains effets de défaut d'adaptation de niveau d'impédance entre le système/câble TDR et la carte d'essai à l'extrémité proximale.

Configurations recommandées de la fixation d'essai:

**C.2.1.1** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison qui est court-circuité à la couche du plan de référence appropriée. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

Le temps de montée effectif du signal de palier et l'amplitude sont égaux aux valeurs TDR d'amplitude mesurées et au temps de descente de la réflexion de palier négative à la terminaison de court-circuit à l'extrémité distale de ce tracé de référence. Lorsque l'impédance de la carte d'essai ne correspond pas précisément à l'impédance de la tête TDR et du câble d'essai, la transition descendante du niveau de réflexion zéro au niveau «court-circuit» ou «-1 rho» inclut des portions de palier positives ou négatives supplémentaires. La portion de forme d'onde recommandée pour mesurer l'amplitude effective du système d'essai et le temps de descente est indiquée à la Figure C.3.

**C.2.1.2** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison qui est ouvert en fonction de la couche du plan de référence approprié. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

**C.2.1.3** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison sur l'impédance d'environnement de l'éprouvette. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

**C.2.1.4** Un tracé de transmission transversale droite dont la longueur est égale à la longueur totale du tracé de fixation pour un trajet unique (longueur des tracés proximal et distal). La fixation d'essai doit fournir un câble coaxial identique ou une connexion de sonde aux deux extrémités.

Dans ce cas, le temps de montée et l'amplitude effectifs du système TDR, lorsqu'il est utilisé avec la carte de fixation, sont déterminés à partir d'une mesure TDT de ce tracé de référence (temps de montée du système de mesure). Lorsque l'impédance des cartes d'essai ne correspond pas précisément à l'impédance du TDR, un deuxième palier différé apparaîtra sur la forme d'onde de palier transmise. La portion de forme d'onde recommandée pour mesurer l'amplitude effective du système d'essai et le temps de montée sont indiqués à la Figure A.1.

NOTE Il convient que la carte d'essai inclue une structure de référence (y compris circuits à empreintes, lignes de masse, tracés, trous de liaison), avec une configuration semblable à celle que le dispositif en essai aurait dans une application finale type.

### C.2.2 Domaine fréquentiel

Les cartes d'essai doivent inclure des tracés de référence pour mesurer les caractéristiques du domaine fréquentiel du dispositif de fixation afin de corriger les effets de fixation (par exemple, discontinuités d'impédance). Diverses techniques d'étalonnage telles que la SOLT (Short-Open-Load-Through) et la TRL (Ligne de Réflexion Transversale) peuvent être utilisées. Le dispositif de fixation doit comporter des caractéristiques appropriées à cette (ces) méthode(s) d'étalonnage. Les configurations recommandées de fixation d'essai pour la méthode SOLT communément utilisée incluent:

### C.2.1 Time domain

Test boards shall include reference traces for measuring the measurement system rise time and amplitude of the TDR system step signal, including the effects of the test fixture, as well as the TDR signal source and sampling head response times. Note that using this measured step amplitude for normalizing the connector reflections will correct for some of the effects of impedance level mismatch between the TDR system/cable, and the test board at the near end.

The following are the recommended test fixture configurations.

**C.2.1.1** A reference trace ending in a via which is shorted to the appropriate reference plane layer. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

The effective step signal rise time and amplitude are equal to the TDR measured values of the amplitude and fall time of the negative step reflection at the short circuit termination at the far end of this reference trace. When the impedance of the test board does not precisely match the impedance of the TDR head and test cable, the falling transition from the zero reflection level to the “short circuit” or “–1 rho” level includes additional positive or negative step portions. The recommended waveform portion for measuring the effective test system amplitude and fall time is indicated in Figure C.3.

**C.2.1.2** A reference trace ending in a via which is open with respect to the appropriate reference plane layer. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

**C.2.1.3** A reference trace ending in a via to the specimen environment impedance. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

**C.2.1.4** A straight through transmission trace whose length is equal to the total fixture trace length for a single path (length of the near-end and far-end traces). The test fixture shall provide an identical coaxial cable or probe connection at both ends.

In this case, the effective rise time and amplitude of the TDR system when used with the fixture board are determined from a TDT measurement of this reference trace (measurement system rise time). When the impedance of the test boards does not precisely match the impedance of the TDR, a second delayed step will appear on the transmitted step waveform. The recommended portion of the waveform for measuring the effective test system amplitude and rise time is indicated in Figure A.1.

NOTE The test board should include a reference structure (including footprint pads, grounds, traces, vias) with the same configuration as the device under test would have in a typical end-use application.

### C.2.2 Frequency domain

Test boards shall include reference traces for measuring the frequency-domain characteristics of the fixture in order to correct for fixture effects (for example, discontinuities in impedance). Various calibration techniques such as SOLT (Short-Open-Load-Through) and TRL (Through-Reflect-Line) may be used. The fixture shall incorporate features appropriate to that calibration method(s). Recommended test fixture configurations for the commonly used SOLT method include the following.

**C.2.2.1** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison qui est court-circuité à la couche du plan de référence appropriée. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

**C.2.2.2** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison qui est ouvert en fonction de la couche du plan de référence approprié. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

**C.2.2.3** Un tracé de référence se terminant dans un trou de liaison sur l'impédance d'environnement de l'éprouvette. Il convient que la longueur de ce tracé de référence soit la même que celle du tracé connecté à l'extrémité proximale du dispositif en essai.

**C.2.2.4** Un tracé de transmission transversale droite dont la longueur est égale à la longueur totale du tracé de fixation pour un trajet unique (longueur des tracés proximal et distal). La fixation d'essai doit fournir un câble coaxial identique ou une connexion de sonde aux deux extrémités.

NOTE Il convient que la carte d'essai inclue une structure de référence (y compris circuits à empreintes, lignes de masse, tracés, trous de liaison), avec une configuration semblable à celle que le dispositif en essai aurait dans une application finale type.

**C.2.2.1** A reference trace ending in a via which is shorted to the appropriate reference plane layer. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

**C.2.2.2** A reference trace ending in a via which is open with respect to the appropriate reference plane layer. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

**C.2.2.3** A reference trace ending in a via to the specimen environment impedance. The length of this reference trace should be the same as that of the trace connected to the near end of the device under test.

**C.2.2.4** A straight through transmission trace whose length is equal to the total fixture trace length for a single path (length of the near-end and far-end traces). The test fixture shall provide an identical coaxial cable or probe connection at both ends.

NOTE The test board should include a reference structure (including footprint pads, grounds, traces, vias) with the same configuration as the device under test would have in a typical end-use application.

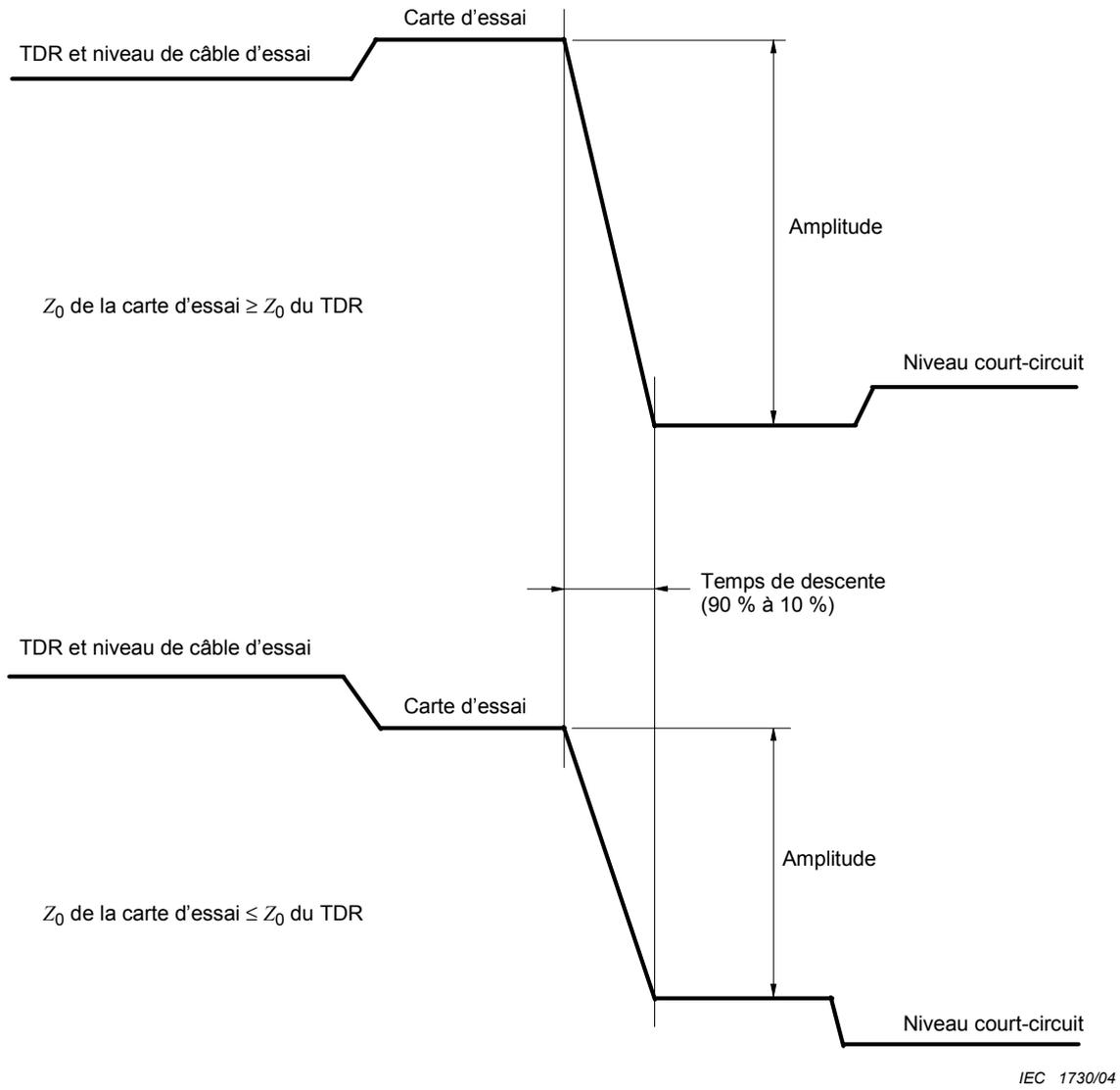


Figure C.3 – Exemple de tracé de référence proximale

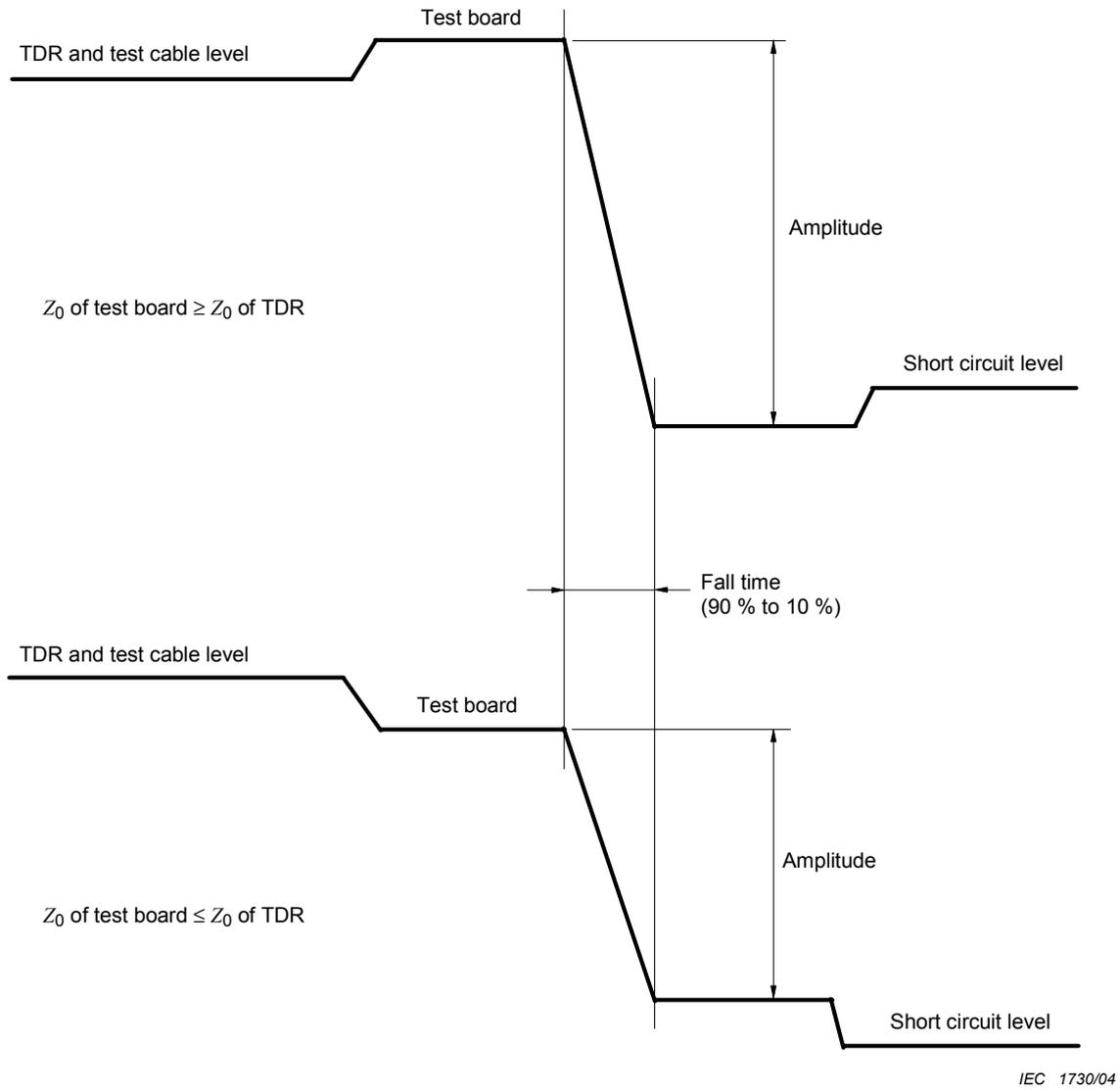


Figure C.3 – Example of near-end reference trace

## **Annexe D** (informative)

### **Interprétation des graphiques d'impédance TDR**

Les Figures D.1 et D.2 sont des exemples de divers graphiques d'impédance TDR et proposent une brève explication de chacun. Cela n'entre pas dans le domaine d'application de ce document de décrire toutes les subtilités de l'interprétation des tracés TDR. Des erreurs de mesure significatives peuvent être introduites par des fixations d'essai avec pertes, des problèmes de gravure avec des tracés à carte, des variations diélectriques dans la carte d'essai et autres.

#### **D.1 Exemple de tracé TDR**

La Figure D.1 illustre un exemple de tracé TDR (profil d'impédance), incluant un connecteur SMA, une carte mère de fixation de carte de circuit imprimé, une éprouvette d'interconnexion, une carte fille de fixation de carte de circuit imprimé, puis une terminaison ouverte. A partir de ce graphique TDR, le professionnel d'essai peut déterminer, par exemple, le début et la fin du connecteur (en rappelant que les mesures de temps TDR sont des allers et retours), les valeurs d'impédance minimale et maximale du dispositif en essai, et l'impédance moyenne de l'éprouvette. Il convient de noter que tout tracé TDR est spécifique au temps de montée du système de mesure auquel il a été mesuré, et il convient que cette information soit toujours consignée avec les valeurs d'impédance mesurées.

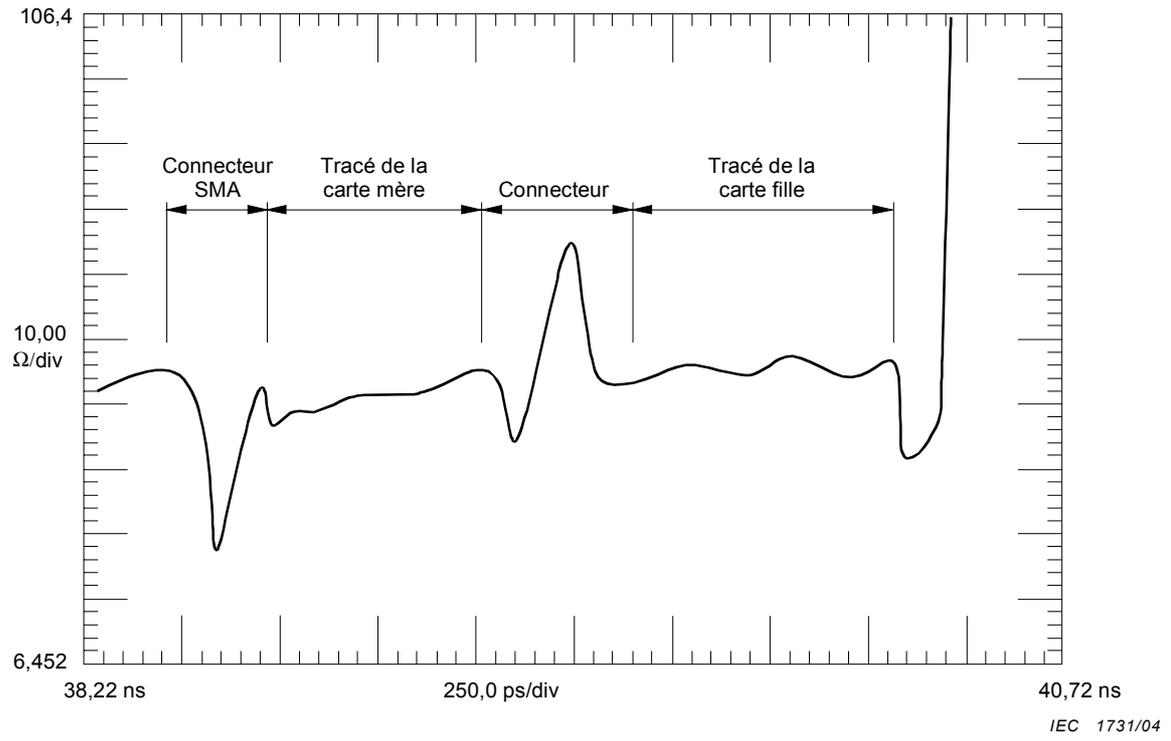
## **Annex D** (informative)

### **Interpreting TDR impedance graphs**

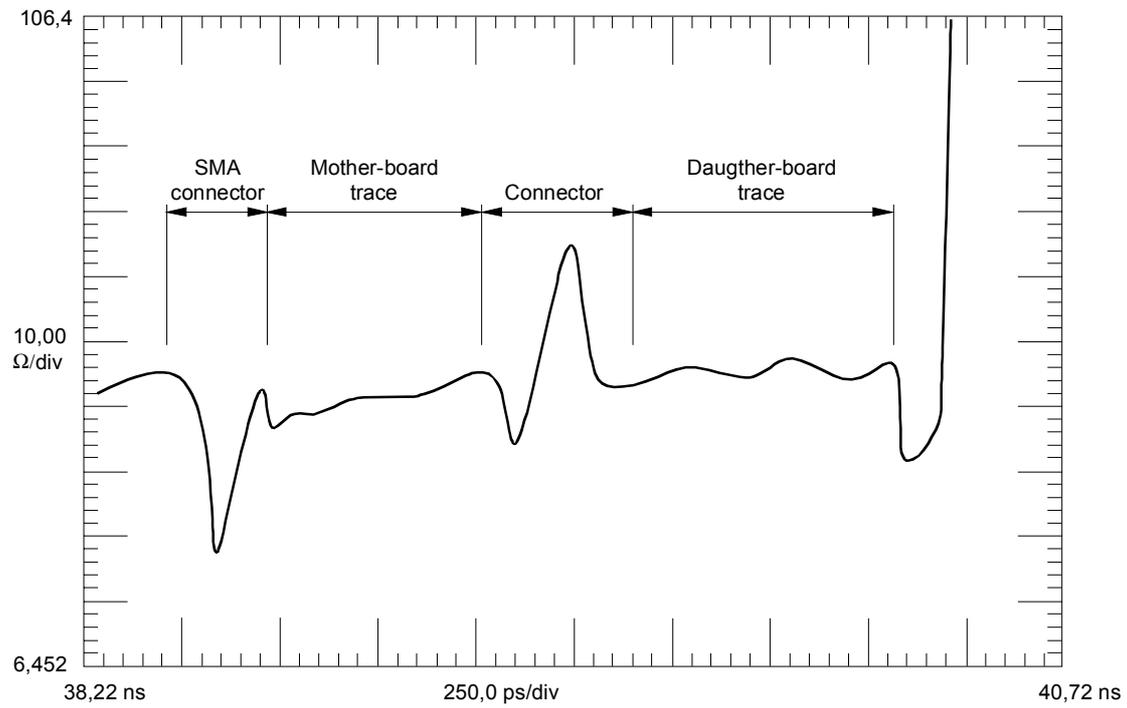
Figures D.1 and D.2 are examples of various TDR impedance graphs and provide a brief explanation of each. It is beyond the scope of this document to describe all the fine points of interpreting TDR plots. Significant measurement errors may be introduced by lossy test fixtures, etching problems with board traces, dielectric variations in the test board and others.

#### **D.1 Example of TDR trace**

Figure D.1 demonstrates an example of a TDR trace (impedance profile) including an SMA connector, PCB fixture motherboard, interconnect specimen, PCB fixture daughter board, and then an open termination. From this TDR graph, the test professional can determine, for example, the start and stop of the connector (remembering the TDR time measurements are the round trip, go and return), minimum and maximum impedance values of the device under test, and average impedance of the specimen. It should be noted that each TDR trace is specific to the measurement system rise time at which it was measured, and this information should always be reported with the measured impedance values.



**Figure D.1 – Exemple d’un profil d’impédance d’un connecteur utilisant un temps de montée du système de mesure de 35 ps**



**Figure D.1 – Example of an impedance profile of connector using a measurement system rise time of 35 ps**

IEC 1731/04

## D.2 Effets de l'utilisation de temps de montée variables

La Figure D.2 démontre les effets de l'utilisation de temps de montée variables (ce tracé a été généré en utilisant des filtres de logiciel). Comme l'illustre le tracé supérieur d'impédance TDR (mesuré à un temps de montée du système de mesure de 35 ps), les valeurs d'impédance varient fortement par rapport au tracé inférieur (mesuré à un temps de montée du système de mesure de 1 ns). Cela est dû à la résolution supplémentaire qui est fournie en utilisant le temps de montée du système de mesure le plus rapide.

NOTE L'Annexe F décrit un certain nombre de méthodes pour lesquelles le temps de montée du signal effectif peut être varié.

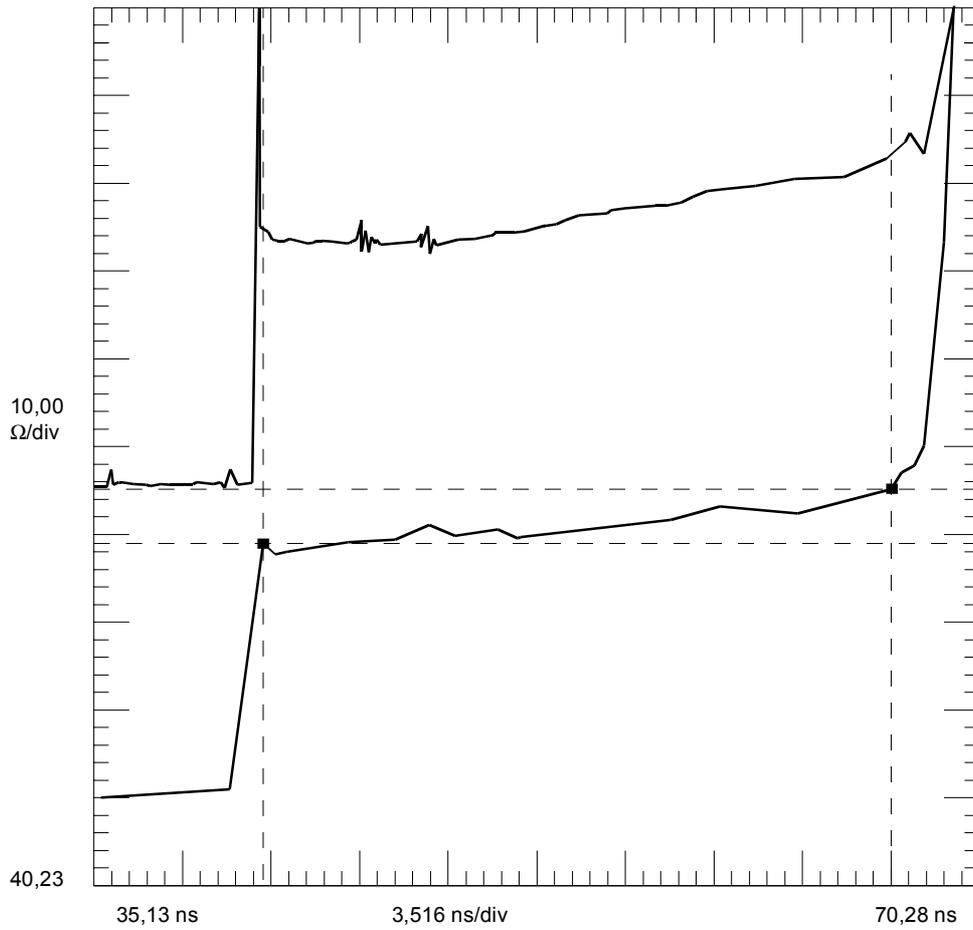


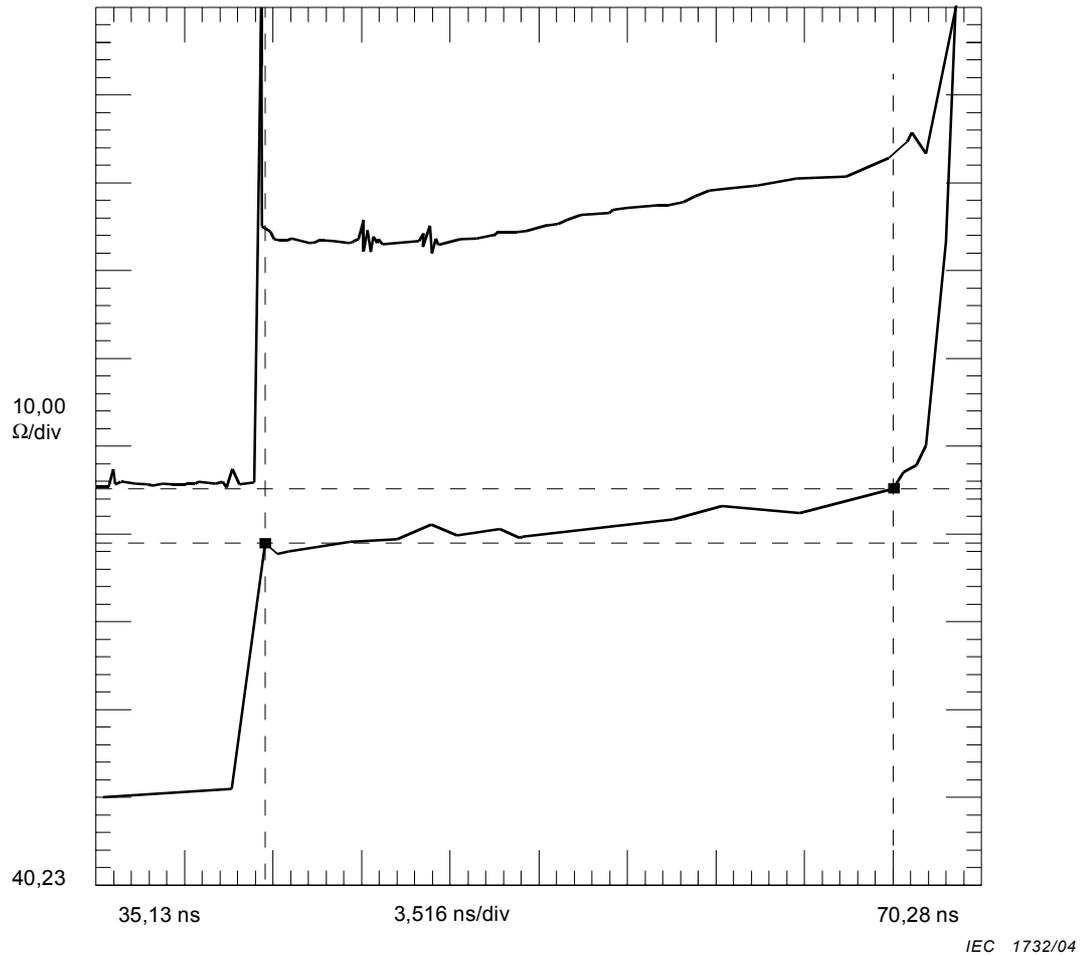
Figure D.2 – Exemple de profils d'impédance de câble aux temps de montée de 35 ps et 1 ns

IEC 1732/04

## D.2 Effects of using variable rise times

Figure D.2 demonstrates the effects of using variable rise times (this plot was generated using software filters). As shown in the top TDR impedance trace (measured at a measurement system rise time of 35 ps), the impedance values vary greatly compared to the lower trace (measured at a measurement system rise time of 1 ns). This is due to the additional resolution that is provided by using the faster measurement system rise time.

NOTE Annex F describes a number of methods by which the effective signal rise time may be varied.



**Figure D.2 – Example of impedance profiles of cable  
at the rise time of 35 ps and 1 ns**

## **Annexe E** (informative)

### **Terminaisons électriques**

**E.1** Lorsque cela est spécifié dans le document de référence, il convient que le dispositif de fixation permette aux mesures d'être réalisées avec une terminaison de type résistif fixée à l'extrémité distale de la ligne de conduite, voir les Figures E.1 et E.2. Afin de réduire toutes les réflexions extérieures, il est également recommandé que les terminaisons de type résistif soient raccordées à la fois aux extrémités proximale et distale des lignes de signal de tout autre spécimen qui peuvent être fortement couplées électriquement à la ligne de signal à mesurer. La plupart des instruments utilisés pour ces mesures sont intérieurement raccordés dans des extrémités simples de  $50 \Omega$  et  $75 \Omega$  à la fois aux accès de la source et du récepteur.

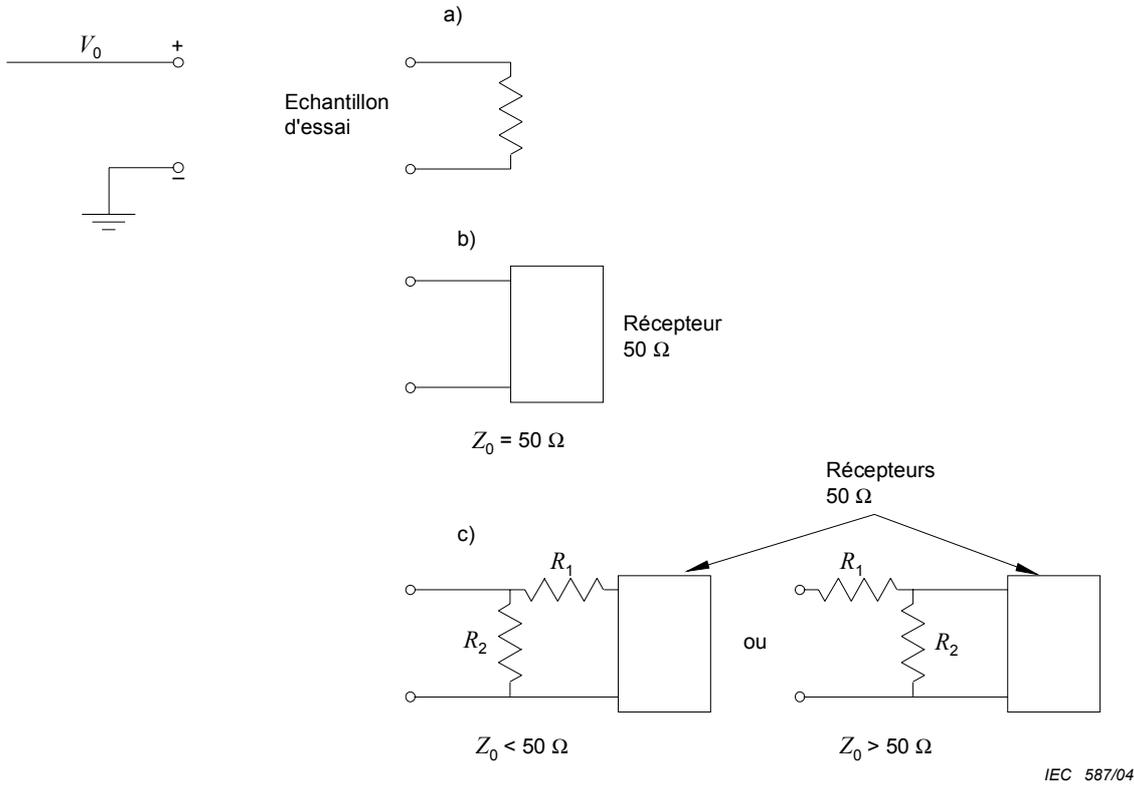
**E.2** Des terminaisons de type résistif parfaites des lignes de signal peuvent ne pas être possibles à des fréquences élevées en raison de réactances parasites à la fois dans les conducteurs de signal et dans les conducteurs de masse. Ces réactances auront un impact sur les résultats mesurés. Dans ce cas, il est désirable que la fixation d'essai duplique la géométrie exacte (parasites) de l'application réelle.

## **Annex E** (informative)

### **Terminations – Electrical**

**E.1** When specified in the referencing document, the fixture should allow measurements to be made with a resistive termination attached to the far end of the driven line (see Figures E.1 and E.2). In order to reduce any extraneous reflections, it is also recommended that resistive terminations be connected to both near and far ends of any other specimen signal lines which may be strongly coupled electrically to the signal line being measured. Most instruments used for these measurements are internally terminated in 50  $\Omega$  or 75  $\Omega$  single-ended at both source and receiver ports.

**E.2** Perfect resistive terminations of the signal lines may not be possible at high frequencies due to parasitic reactances in both signal and ground conductors. These reactances will have an impact on measured results. In this case, it is desirable that the test fixture duplicate the exact geometry (parasitics) of the actual application.



Equations des circuits à perte minimale:

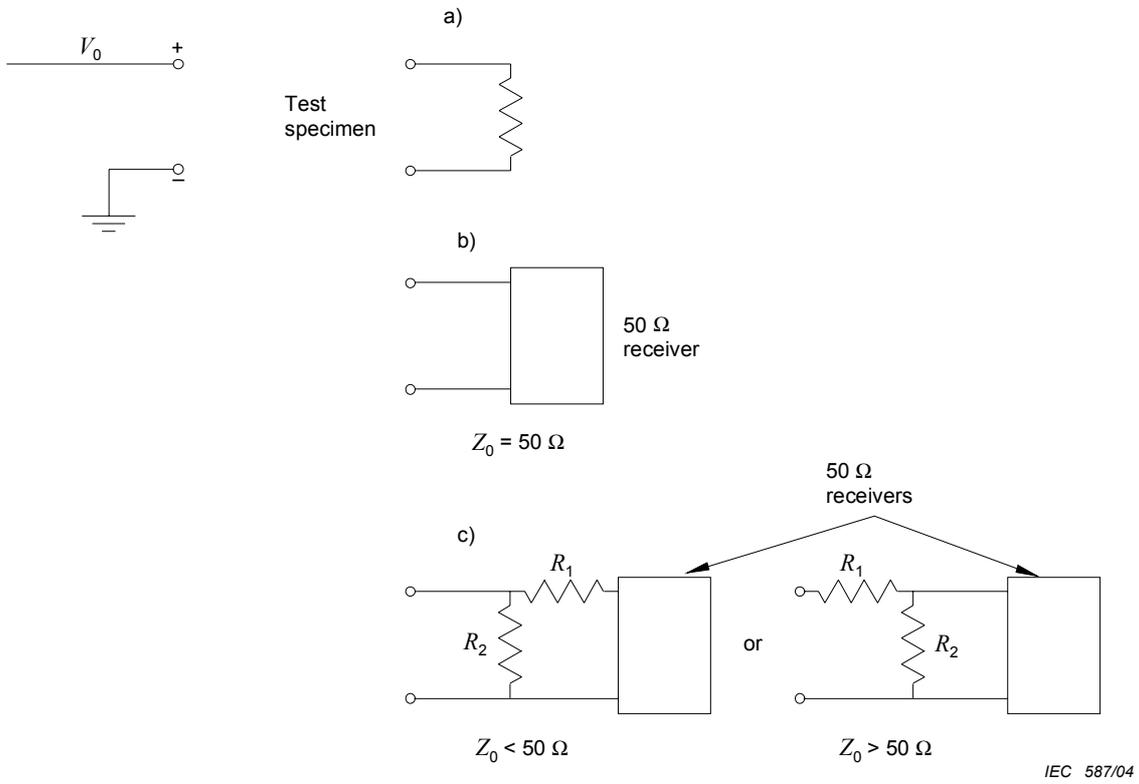
$$R_1 = 50 [1 - (Z_0 / 50)]^{0,5}$$

$$R_2 = Z_0 / [1 - (Z_0 / 50)]^{0,5}$$

$$R_1 = Z_0 [1 - (50 / Z_0)]^{0,5}$$

$$R_2 = 50 / [1 - (50 / Z_0)]^{0,5}$$

**Figure E.1 – Adaptations asymétriques**



Minimum loss pad equations:

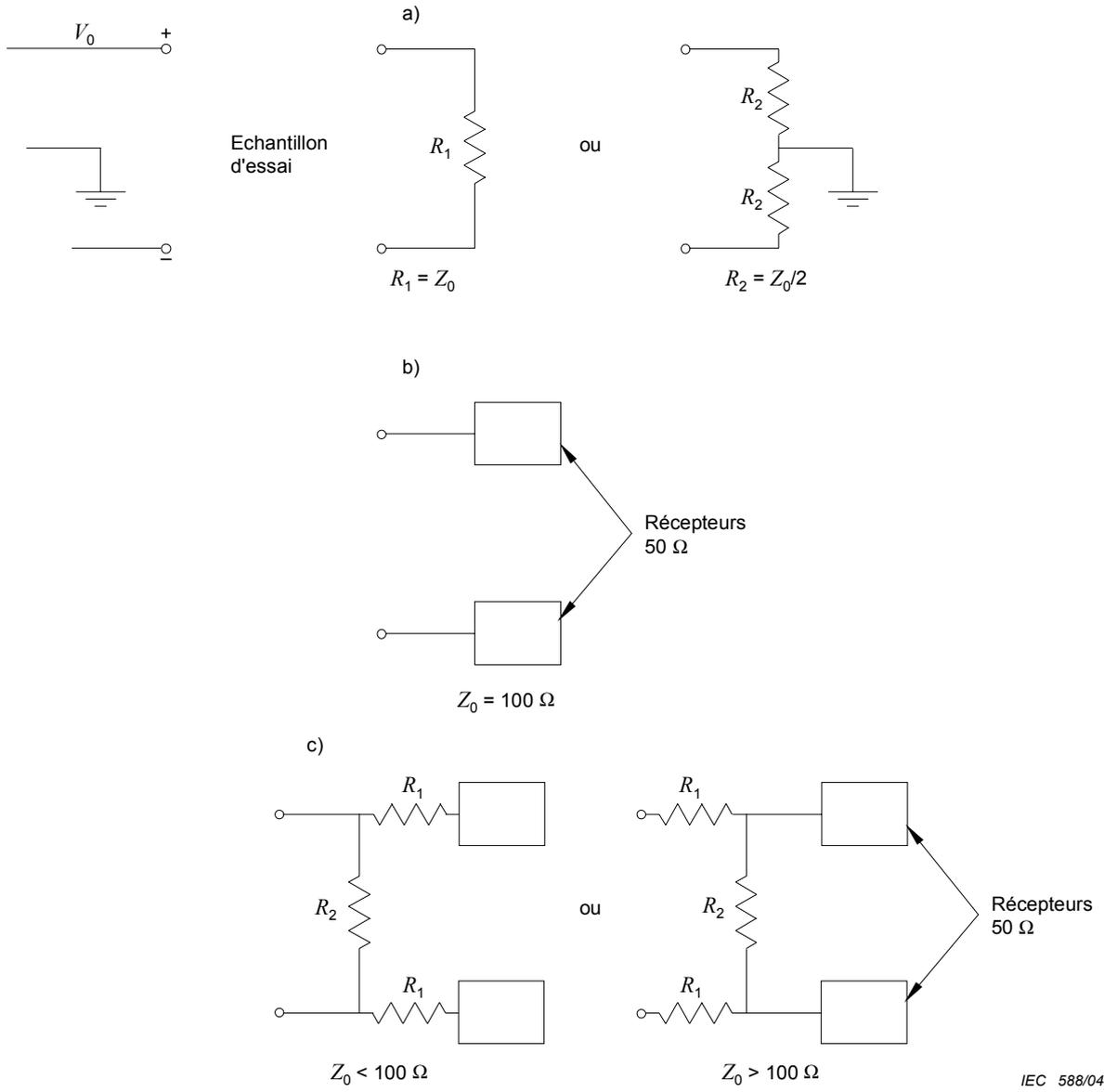
$$R_1 = 50 [1 - (Z_0 / 50)]^{0,5}$$

$$R_2 = Z_0 / [1 - (Z_0 / 50)]^{0,5}$$

$$R_1 = Z_0 [1 - (50 / Z_0)]^{0,5}$$

$$R_2 = 50 / [1 - (50 / Z_0)]^{0,5}$$

Figure E.1 – Single-ended terminations



IEC 588/04

Equations des circuits à perte minimale:

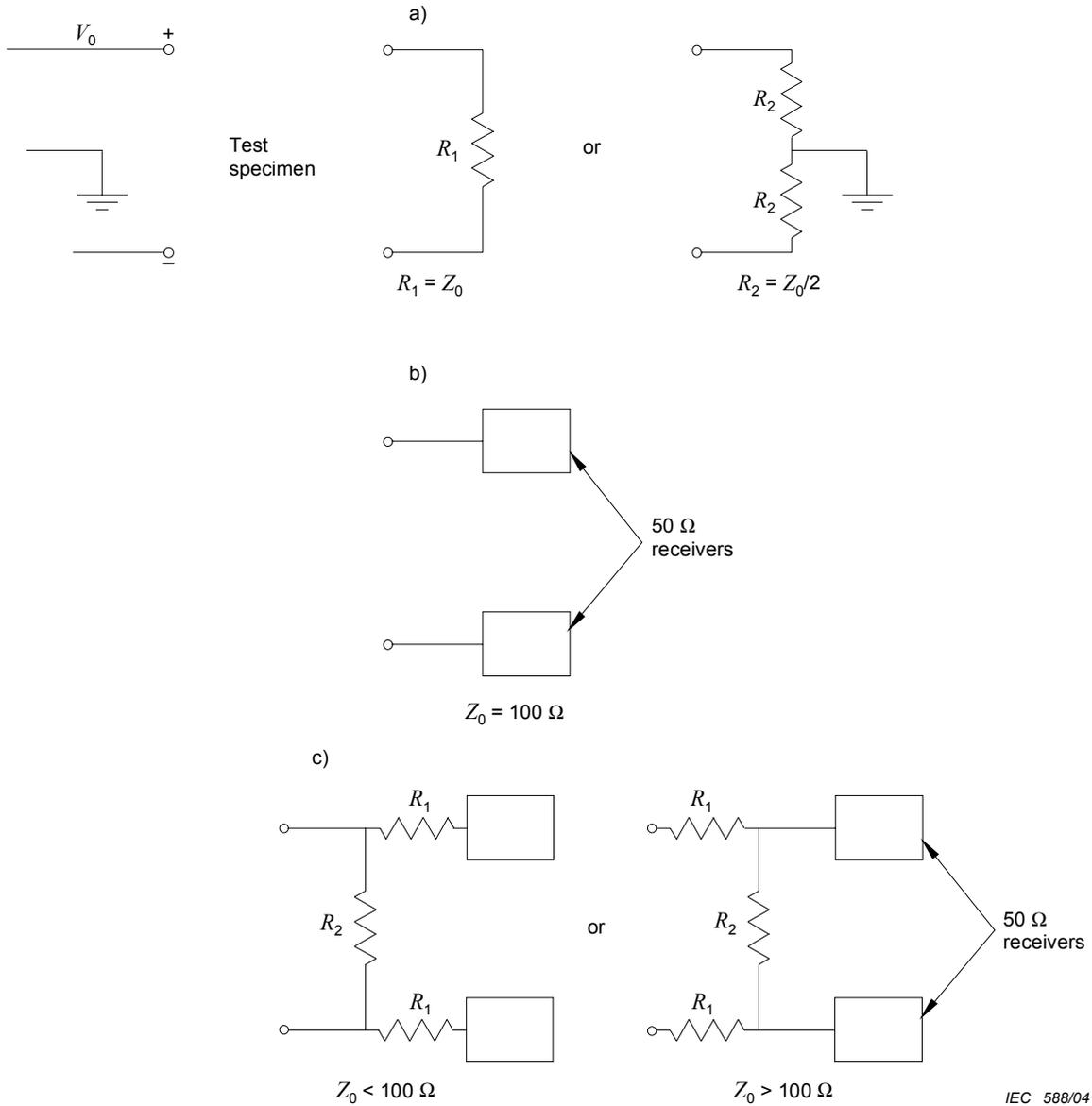
$$R_1 = 100 [1 - (Z_0 / 100)]^{0,5} / 2$$

$$R_2 = Z_0 / [1 - (Z_0 / 100)]^{0,5}$$

$$R_1 = Z_0 [1 - (100 / Z_0)]^{0,5} / 2$$

$$R_2 = 100 / [1 - (100 / Z_0)]^{0,5}$$

Figure E.2 – Adaptations différentielles (symétriques)



Minimum loss pad equations:

$$R_1 = 100 [1 - (Z_0 / 100)]^{0,5} / 2$$

$$R_2 = Z_0 / [1 - (Z_0 / 100)]^{0,5}$$

$$R_1 = Z_0 [1 - (100 / Z_0)]^{0,5} / 2$$

$$R_2 = 100 / [1 - (100 / Z_0)]^{0,5}$$

**Figure E.2 – Differential (balanced) terminations**

## **Annexe F (informative)**

### **Guide pratique – temps de montée variable**

**F.1** Il est souvent utile de fournir des données de performance électrique à vitesse élevée à davantage de temps de montée que simplement le temps de montée inchangé de l'équipement d'essai. Par exemple, dans le cas d'un palier TDR, le temps de montée peut être bien inférieur à 100 ps, et des temps de montée d'application différente peuvent être n'importe où de 2 à 10 fois cela ou même plus. Dans la mesure où le temps de montée le plus rapide possible a sa valeur quant aux informations qu'il fournit, il est également bénéfique de comprendre comment le système d'interconnexion fonctionne aux temps de montée spécifiques des applications qui y seront utilisées.

**F.2** Dans la mesure où la technologie dans l'équipement d'essai devient plus avancée, de nombreuses techniques peuvent être manipulées dans l'équipement d'essai lui-même, cependant, si elles ne sont pas disponibles dans l'équipement d'essai, d'autres méthodes existent. Ces méthodes incluent, mais ne se limitent pas à:

- l'utilisation d'un générateur de palier avec le temps de montée désiré;
- l'utilisation d'un générateur de palier plus rapide et d'un filtre matériel;
- un logiciel de traitement du signal dans l'équipement d'essai;
- un logiciel de traitement du signal externe à l'équipement d'essai;
- une mesure de domaine fréquentiel convertie en domaine temporel par un traitement de signal numérique (transformée inverse de Fourier);
- aucune méthode utilisée (c'est-à-dire uniquement le temps de montée TDR/TDT non modifié est utilisé).

**NOTE** Il convient que le professionnel d'essai soit conscient de toute filtration qui modifie le temps de montée dans un système d'essai. Cela inclut non seulement les méthodes répertoriées ci-dessus, mais également les câbles, les tracés à carte de circuit imprimé, les connecteurs, etc. Tous ces composants de fixation sont nécessaires dans le circuit d'essai de fixation, cependant, ils ont un effet sur le temps de montée, et il convient qu'il soit mesuré et compris par rapport à ce que représente le temps de montée effectif total du système de mesure.

## Annex F (informative)

### Practical guidance – variable rise time

**F.1** It is often useful to provide high speed electrical performance data at more rise times than just the unaltered rise time of the test equipment. For example, in the case of a TDR step, the rise time may be well below 100 ps, and different application rise times may be anywhere from 2 to 10 times that or even greater. As the fastest possible rise time has its merit as to the information it provides, it is also beneficial to understand how the interconnect system performs at the specific rise times of the applications that it will be used in.

**F.2** As the technology within the test equipment becomes more advanced, many of the techniques can be handled within the test equipment itself; however if not available inside the test equipment, other methods do exist. These methods include, but are not limited to

- use of a step generator with the desired rise time;
- use of a faster step generator and a hardware filter;
- signal processing software within the test equipment;
- signal processing software external to the test equipment;
- frequency-domain measurement converted to the time domain by digital signal processing (inverse Fourier transform);
- no method used (i.e. only the unmodified TDR/TDT rise time is used).

**NOTE** The test professional should be aware of all filtering which modifies the rise time within a test system. This includes not only the methods listed above but also cables, printed circuit board traces, connectors, etc. Each of these fixture components are necessary in the fixture test circuit; however they do have an effect on the rise time and should be measured and understood as to what the total effective measurement system rise time is.

### Annexe G (informative)

#### Considérations de conception de carte de circuit imprimé pour les mesures électroniques

**G.1** Il convient que le concepteur prenne des précautions dans la conception des cartes de circuit imprimé pour les essais à vitesse élevée pour plusieurs raisons. Celles-ci incluent des réflexions dues aux mauvaises adaptations d'impédance, un affaiblissement du signal dû à l'effet de peau des conducteurs étroits, des effets de résonance dus à des tracés longs, une diaphonie entre les tracés, et autres. Les caractéristiques des cartes de circuit imprimé qui peuvent présenter un intérêt incluent les trous de liaison, les circuits par montage en surface, une interface de sonde, etc. Les discontinuités électriques provoquées par ces caractéristiques sont inévitables dans la(les) fixation(s) d'essai, et elles ne doivent pas être négligées, dans la mesure où elles peuvent affecter les résultats d'impédance de l'éprouvette. Cette Annexe ne peut pas aborder ces thèmes en détail, mais tentera d'établir les bases pour une analyse et une conception plus poussées, et de renvoyer le lecteur à des approches plus détaillées du sujet. Il existe un certain nombre de références excellentes sur le sujet, qui sont répertoriées dans cette Annexe.

**G.2** Lorsque les tracés de carte de circuit imprimé approchent des longueurs critiques (définies en G.2.7), il devient essentiel de concevoir les tracés afin qu'ils correspondent à l'impédance de l'équipement d'essai pour éviter des résultats imprécis causés par les réflexions. Contrôler l'impédance de ligne des tracés de carte de circuit imprimé est difficile sans l'utilisation de plans de référence inclus dans la carte. Le plan de référence préférentiel est connecté à la base du signal, mais toute référence d'impédance faible conviendra (incluant un plan de tension), si elle est suffisamment découplée. L'impédance de la ligne de signal est déterminée par la géométrie du conducteur, incluant la largeur et l'épaisseur du tracé, la distance à partir de la masse ou autre plan ou conducteur de référence, et la constante diélectrique du matériel de la carte. Dans le cas de paires de tracés différentielles, l'espacement entre les deux tracés est également critique. Plusieurs formules existent pour le calcul de l'impédance du tracé de carte de circuit imprimé, et un certain nombre d'outils logiciels de calcul d'impédance sont également disponibles. Le choix de la formule d'impédance de la carte est basé sur le placement relatif des conducteurs ainsi que sur leur position dans la section de la carte, certains exemples communs étant représentés sur les Figures G.1 et G.2.

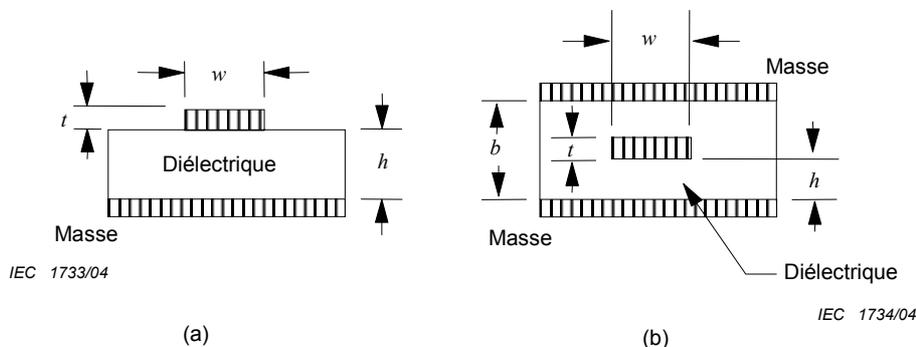


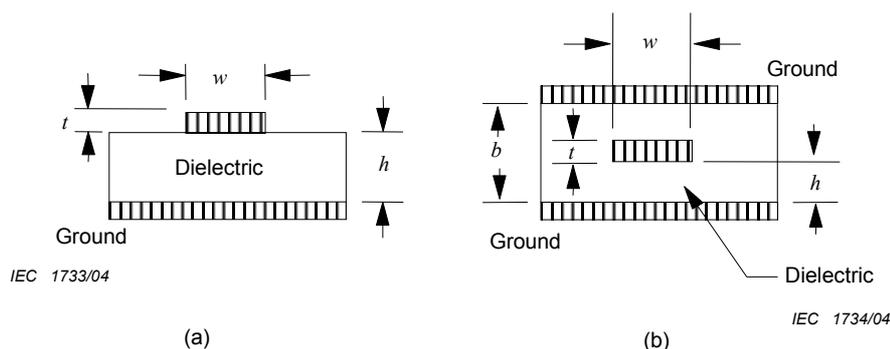
Figure G.1 – Géométries de microruban (a) et de ligne triplaque (b)

## Annex G (informative)

### Printed circuit board design considerations for electronics measurements

**G.1** The designer should take precautions in designing printed-circuit boards for high-speed testing for several reasons. These include reflections due to impedance mismatches, signal attenuation due to skin effect of the narrow conductors, resonance effects due to long traces, crosstalk between traces, and others. Printed circuit board features that may be of concern include vias, SMT pads, probe interface, etc. Electrical discontinuities caused by these features are unavoidable in the test fixture(s) and shall not be overlooked as they may affect the impedance results of the specimen. This annex cannot cover these topics in detail but will attempt to lay the groundwork for further analysis and design, and refer the reader to more detailed treatments of the subject. There are a number of excellent references on the subject, which are listed in this annex.

**G.2** When the printed circuit-board traces approach critical lengths (defined in G.2.7), it becomes essential to design the traces to match the impedance of the test equipment to avoid inaccurate results due to reflections. Controlling the line impedance of printed circuit-board traces is difficult without the use of embedded reference planes in the board. The preferred reference plane is one connected to signal ground, but any low impedance reference will work (including a voltage plane) if it is sufficiently decoupled. The signal line impedance is determined by conductor geometry, including the trace width and thickness, distance from the ground or other reference plane or conductor, and the dielectric constant of the board material. In the case of differential trace pairs, the spacing between the two traces is also critical. Several formulas exist for calculation of printed circuit-board trace impedance, and a number of impedance calculation software tools are also available. The choice of board impedance formula is based on the conductors' relative placement as well as their position in the board cross-section, some common examples of which are shown in the Figures G.1 and G.2.



**Figure G.1 – Microstrip (a) and stripline (b) geometries**

**G.2.1** A la Figure G.1(a), une section d'une ligne de transmission de microruban est représentée. La ligne de signal de la largeur  $w$  et de l'épaisseur  $t$  se situe au sommet de la surface de la couche diélectrique avec une constante diélectrique relative  $\epsilon_r$  (généralement entre 4 et 5 pour les cartes en verre-époxy) à une hauteur  $h$  au-dessus d'une base ou de tout autre plan de référence. L'impédance caractéristique d'une ligne de signal avec une telle structure est donnée par l'équation suivante. <sup>1</sup>

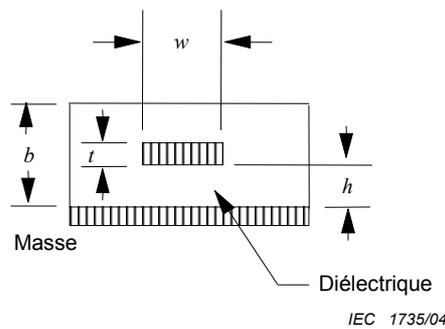
$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \ln\left(\frac{5,98h}{0,8w + t}\right)$$

**G.2.2** Cette valeur est approximative, puisqu'elle suppose que le conducteur est entouré d'air sur trois côtés; si le conducteur est couvert par un masque de brasage ou tout autre matériau (comme il est courant), la constante diélectrique plus élevée de ce matériau réduira l'impédance à partir de la valeur calculée en utilisant l'équation.

**G.2.3** La structure de ligne triplaquée représentée à la Figure G.1(b) est une structure dans laquelle la ligne de signal est entourée par le matériau diélectrique, avec des plans de masse ou de référence des deux côtés. L'impédance caractéristique pour la structure de ligne triplaquée est donnée par l'équation suivante. <sup>2</sup>

$$Z_0 = \frac{60}{\epsilon_r} \ln\left(\frac{4b}{0,67\pi w\left(0,8 + \frac{t}{w}\right)}\right)$$

**G.2.4** Une structure similaire existe également, dans laquelle le conducteur en question est à l'intérieur de la surface de la carte de circuit imprimé, mais est seulement adjacent à un plan de masse ou de référence dans une direction. Cela se rapporte à des microrubans variés, du microruban «enterré» au microruban «sous revêtement», et est représenté à la Figure G.2.



**Figure G.2 – Géométrie de microruban enterré**

L'impédance caractéristique pour cette configuration est donnée par l'équation suivante. <sup>3</sup>

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{5,98h}{0,8w + t}\right)$$

<sup>1</sup> Blood, William R., Jr.: *MECL System Design Handbook* (Phoenix, AZ: Motorola Semiconductor Products, Inc., 1988), p. 45.  
<sup>2</sup> *Op. cit.*, p. 48.  
<sup>3</sup> Buchanan, James E.: *BICMOS/CMOS Systems Design* (New York: McGraw-Hill, 1991), *op. cit.*, p. 109.

**G.2.1** In Figure G.1(a), a cross-section of a microstrip transmission line is shown. The signal line of width  $w$  and thickness  $t$  lies on top of the surface of the dielectric layer with relative dielectric constant  $\epsilon_r$  (typically between 4 and 5 for glass-epoxy boards) at a height of  $h$  above a ground or other reference plane. The characteristic impedance of a signal line with such a structure is given by the following equation.<sup>1</sup>

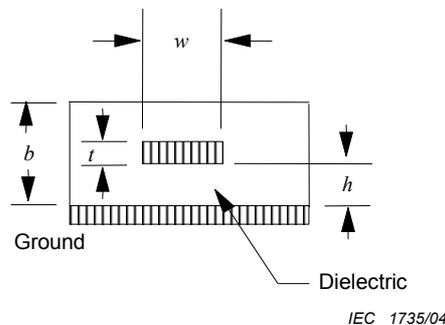
$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r} + 1,41} \ln \left( \frac{5,98h}{0,8w + t} \right)$$

**G.2.2** This value is approximate, in that it assumes that the conductor is surrounded on 3 sides by air; if the conductor is covered by solder mask or other material (as is typical), the higher dielectric constant of that material will lower the impedance from the value calculated using the equation.

**G.2.3** The stripline structure shown in Figure G.1(b) is one in which the signal line is surrounded by the dielectric material, with ground or reference planes on two sides. The characteristic impedance for the stripline structure is given by the following equation.<sup>2</sup>

$$Z_0 = \frac{60}{\epsilon_r} \ln \left( \frac{4b}{0,67\pi w \left( 0,8 + \frac{t}{w} \right)} \right)$$

**G.2.4** A similar structure also exists where the conductor in question is inside the surface of the printed circuit-board but is only adjacent to a ground or reference plane in one direction. This is referred to variously as “buried” microstrip or “covered” microstrip and is shown in Figure G.2.



**Figure G.2 – Buried microstrip geometry**

The characteristic impedance for this configuration is given by the following equation.<sup>3</sup>

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{5,98h}{0,8w + t} \right)$$

<sup>1</sup> Blood, William R., Jr.: *MECL System Design Handbook* (Phoenix, AZ: Motorola Semiconductor Products, Inc., 1988), p. 45.

<sup>2</sup> *Op. cit.*, p. 48.

<sup>3</sup> Buchanan, James E.: *BiCMOS/CMOS Systems Design* (New York: McGraw-Hill, 1991), *op. cit.*, p. 109.

**G.2.5** Les équations ci-dessus ont toutes traité de lignes de signal asymétriques (déséquilibrées). Dans le cas de signaux différentiels (équilibrés), l'impédance est plus difficile à calculer que l'impédance asymétriques conventionnelle; l'utilisation d'un logiciel de correction de champ est souvent nécessaire pour résoudre ce type de problème. L'utilisation de trous de liaison doit être déconseillée lorsque cela est possible, dans la mesure où la capacitance des trous de liaison entraîne de mauvaises adaptations d'impédance et des réflexions en résultant dans le trajet du signal. Dans le cas où des plans dépolis de surface sont utilisés pour construire des structures de ligne triplaque, il convient que les plans dépolis de surface et enterrés soient connectés ensemble par des trous de liaison espacés les uns des autres de pas plus de  $\lambda/8$ , afin d'empêcher les résonances et autres effets indésirables sur la carte de circuit imprimé.

**G.2.6** L'affaiblissement des signaux de fréquence élevée (ou harmoniques d'ordre plus élevé de signaux non sinusoïdaux) dû à l'effet dit de peau est un phénomène bien connu. L'effet de peau devient significatif lorsque l'épaisseur de peau  $\delta$  est inférieure à environ un tiers de l'épaisseur du conducteur <sup>4</sup>. L'épaisseur de peau en mètres à une fréquence donnée d'intérêt est donnée par  $d = 0,0660/f^{1/2}$  <sup>5</sup>, ou environ 2,1 mm à 1 GHz. En supposant que des conducteurs d'une épaisseur de 0,0014" (1,4 mils ou 0,036 mm, généralement désignés par un alliage de cuivre) généralement utilisés pour les tracés à carte de circuit imprimé, cela indiquerait que l'effet de peau serait significatif à des fréquences supérieures à environ 85 MHz.

**G.2.7** Il convient de considérer un autre effet, à savoir la résonance. La résonance peut entraîner des résultats inattendus, voire des oscillations dans l'appareil/dispositif de fixation. Cet effet n'est pas seulement manifesté aux fréquences des signaux d'excitation, mais également aux harmoniques de ces fréquences présentes dans le signal d'excitation; le contenu spectral des impulsions carrées ou presque carrées peut s'étendre bien au-delà de la fréquence maximale attendue. La fréquence maximale du contenu spectral significatif peut être estimée par  $f_{\max} = 1/\pi t_r$ , où  $t_r$  est le temps de montée ou de descente du signal d'excitation. <sup>6</sup>

NOTE Cela est indépendant de la période du signal. Ainsi, pour un signal de 100 MHz avec un temps de montée de 1 ns, une énergie spectrale significative existe dans ce signal jusqu'à environ 300 MHz. La «longueur critique» à laquelle un tracé à carte de circuit imprimé peut causer des problèmes en raison des effets de résonance est donnée par l'équation suivante <sup>7</sup>.

$$l_{\text{crit}} = \frac{t_r}{2t_{\text{pd}}}$$

où  $t_r$  est le temps de montée du signal, et  $t_{\text{pd}}$  est le temps de propagation par unité de longueur dans le milieu (dans le cas type, verre-époxy). Ce temps de propagation est généralement de 80 ps/cm à 100 ps/cm (200 ps/in à 250 ps/in) sur les plans intérieurs des cartes de circuit imprimé, et 55 ps/cm (170 ps/in) sur les plans extérieurs, entraînant une longueur critique d'environ 6 cm (2 in) pour un temps de montée du signal de 1 ns.

**G.2.8** La longueur à utiliser pour calculer la résonance est la longueur d'onde de la fréquence considérée dans le milieu, qui est donnée par l'équation suivante.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

<sup>4</sup> Deutsch, A.: "Electrical Characteristics of Interconnections for High-Performance Systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 2, February, 1998.

<sup>5</sup> Ramo, S., Whinnery, J. R., and Van Duzer, T.: *Fields and Waves in Communications Electronics* (New York: Wiley, 1969), p. 289.

<sup>6</sup> Ott, Henry W.: *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems* (New York: Wiley, 1976), p. 111.

<sup>7</sup> Buchanan, *op. cit.*, p. 125.

**G.2.5** The equations above have all dealt with single-ended (unbalanced) signal lines. In the case of differential (balanced) signals, the impedance is more difficult to compute than the conventional single-ended impedance; the use of field solver software is often necessary to solve this type of problem. The use of vias is to be discouraged, where possible, as the capacitance of vias causes impedance mismatches and consequent reflections in the signal path. In the event that surface ground planes are used to construct stripline structures, the surface and buried ground planes should be connected together by vias spaced no more than  $\lambda/8$  apart, to prevent resonances and other undesired effects on the printed circuit-board.

**G.2.6** Attenuation of high-frequency signals (or higher order harmonics of non-sinusoidal signals) due to the so-called skin effect is a well-known phenomenon. Skin effect becomes significant when the skin depth  $\delta$  is less than approximately one-third of the conductor thickness<sup>4</sup>. The skin depth in metres at a given frequency of interest is given by  $d = 0,0660/f^{1/2}$ <sup>5</sup>, or approximately 2,1 mm at 1 GHz. Assuming 0,0014" thick (1,4 mils or 0,036 mm, commonly referred to as "one ounce" copper) conductors typically used for printed circuit-board trace, this would indicate that skin effect would be significant at frequencies above approximately 85 MHz.

**G.2.7** Another effect that should be considered is resonance. Resonance can cause unexpected results and even oscillations in the device/fixture. This effect is not just manifested at the frequencies of the exciting signals, but also at harmonics of those frequencies present in the exciting signal; the spectral content of square or nearly square pulses can extend far beyond the expected maximum frequency. The maximum frequency of significant spectral content can be estimated as  $f_{\max} = 1/\pi t_r$ , where  $t_r$  is the rise or fall time of the exciting signal.<sup>6</sup>

NOTE This is independent of the period of the signal. So, for a 100 MHz signal with a rise time of 1 ns, significant spectral energy exists in that signal up to approximately 300 MHz. The "critical length" at which a printed circuit board trace may cause problems due to resonance effects is given by the following equation.<sup>7</sup>

$$l_{\text{crit}} = \frac{t_r}{2t_{\text{pd}}}$$

where  $t_r$  is the rise time of the signal and  $t_{\text{pd}}$  is the propagation delay per unit length in the medium (in the typical case, glass-epoxy). This propagation delay is typically 80 ps/cm to 100 ps/cm (200 ps/in to 250 ps/in) on inside planes of printed circuit-boards and 55 ps/cm (170 ps/in) on outside planes, resulting in a critical length of approximately 6 cm (2 in) for a signal rise time of 1 ns.

**G.2.8** The length to be used for calculating resonance is the wavelength of the frequency of interest in the medium, which is given by the following equation.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

<sup>4</sup> Deutsch, A.: "Electrical Characteristics of Interconnections for High-Performance Systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 2, February, 1998.

<sup>5</sup> Ramo, S., Whinnery, J. R., and Van Duzer, T.: *Fields and Waves in Communications Electronics* (New York: Wiley, 1969), p. 289.

<sup>6</sup> Ott, Henry W.: *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems* (New York: Wiley, 1976), p. 111.

<sup>7</sup> Buchanan, *op. cit.*, p. 125.

où  $v$  est la vitesse dans le milieu et  $f$  est la fréquence d'intérêt. La vitesse dans le milieu est la réciproque du temps de propagation, ou environ  $(1-2) \times 10^{10}$  cm/s ( $4-8 \times 10^9$  in/s), entraînant une longueur d'onde d'environ 50 cm (20 in) à 300 MHz.

**G.2.9** Il convient que la diaphonie soit considérée dans la conception de la carte de circuit imprimé, plus manifestement lorsque l'on conçoit un dispositif de fixation pour la mesure d'une diaphonie, mais également pour les autres. La quantité de diaphonie introduite dépend de la géométrie du conducteur (largeur, espacement, et hauteur au-dessus de la masse), de même que la longueur de couplage, et il est ainsi difficile de donner un guide spécifique. Le lecteur doit se référer à <sup>8</sup> pour un débat sur le sujet. A première vue, il convient que l'espacement du conducteur corresponde à trois fois la largeur du conducteur, afin de réduire la diaphonie.

**G.2.10** Il faut également porter l'attention au retard de tracé, particulièrement lors de la conception de dispositifs de fixation pour la mesure du temps de propagation. Là où il faut ajouter la longueur de tracé pour égaliser le retard entre les trajets sur le dispositif de fixation, les angles aigus et les câblages en serpentín ne doivent pas être utilisés. Les angles aigus et les câblages en serpentín introduisent des mauvaises adaptations d'impédance dans les trajets, et le câblage en serpentín change le temps de propagation par unité de longueur dû au couplage entre les branches adjacentes de la configuration. Cela entraînera des temps réels qu'il est difficile de quantifier.

### G.2.11 Recommandations générales

- Sauf spécification contraire, il convient que toutes les couches de cuivre soient à base d'alliage de cuivre, afin de réduire les pertes dues à l'effet de peau.
- Connecter toutes les broches de masse à tous les plans dépolis.
- Il convient que les trous de liaison connectant les plans dépolis soient espacés les uns des autres de pas plus de  $\lambda/8$ . Les trous de liaison remplis sont autorisés.
- Il convient que tous les tracés de signaux sur toute carte de modèle (par exemple carte mère ou carte fille) soient de la même longueur.
- Il convient que les tracés soient séparés (non parallèles) dès que cela est réalisable en échappant à la zone d'empreinte du connecteur afin d'empêcher une diaphonie entre les tracés.

NOTE 1 Il convient que des paires différentielles soient placées comme des paires.

- Il convient que la longueur électrique des tracés à carte pc soit aussi petite que possible.

NOTE 2 Pour les mesures de réflexion du domaine temporel, il convient que la longueur électrique des tracés à carte pc soit d'au moins 3 fois le temps de montée du système de mesure, afin de pouvoir distinguer les discontinuités de la connexion de carte d'essai à partir du DEE. En utilisant des connecteurs à trou traversant (SMA, BNC, etc.), la longueur de tracé peut avoir besoin d'être plus grande que 3 fois le temps de montée du système de mesure.

- Il convient que le professionnel d'essai soit conscient de l'oscillation qui se produira à partir des mauvaises adaptations d'impédance dans le dispositif de fixation.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> *Ibid.*, pp. 114-122.

<sup>9</sup> D'autres références excellentes sur ces sujets incluent:

Johnson, H. and Graham, M.: *High-Speed Digital Design, a Handbook of Black Magic* (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1993).

Matick, R. E.: *Transmission Lines for Digital and Communications Networks* (Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995).

where  $v$  is the velocity in the medium and  $f$  is the frequency of interest. The velocity in the medium is the reciprocal of the propagation delay, or approximately  $(1-2) \times 10^{10}$  cm/s ( $4-8 \times 10^9$  in/s), resulting in a wavelength of approximately 50 cm (20 in) at 300 MHz.

**G.2.9** Crosstalk should be considered in the printed circuit-board design, most obviously when designing a fixture for measurement of crosstalk but also for others. The amount of crosstalk introduced is dependent on conductor geometry (width, spacing, and height above ground) as well as the coupling length, so it is difficult to give specific guidance. The reader is referred to<sup>8</sup> for a discussion of the subject. A rule of thumb is that conductor spacing should be three times the conductor width to minimize crosstalk.

**G.2.10** Attention shall also be paid to the trace delay, especially when designing fixtures for measurement of propagation delay. Where trace length shall be added to equalize delay between paths on the fixture, sharp corners and serpentine wiring are not to be used. Sharp corners and serpentine wiring introduce impedance mismatches into the paths, and serpentine wiring changes the propagation delay per unit length due to the coupling between adjacent legs of the pattern. This will cause actual delays that are difficult to quantify.

### G.2.11 General recommendations

- Unless otherwise specified, all copper layers should be 1 ounce copper to minimize losses due to skin effect.
- Connect all ground pins to all ground planes.
- Vias connecting ground planes should be spaced no more than  $\lambda/8$  apart. Filled vias are allowed.
- All signal traces on any style board (for example motherboard or daughter card) should be the same length.
- Traces should be separated (not running in parallel) as soon as possible upon escaping the connector footprint area to prevent crosstalk between traces.

NOTE 1 Differential pairs should be routed as pairs.

- The electrical length of the pc board traces should be as short as possible.

NOTE 2 For time-domain reflection measurements, the electrical length of the pc board traces should be at least 3 times the measurement system rise time to be able to distinguish the discontinuities of the test board connection from the DUT. When using through-hole connectors (SMA, BNC, etc.), the trace length may need to be longer than 3 times the measurement system rise time.

- The test professional should be aware of the ringing that will occur from the impedance mismatches in the test fixture.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> *Ibid.*, pp. 114-122.

<sup>9</sup> Other excellent references on these subjects include:

Johnson, H. and Graham, M.: *High-Speed Digital Design, a Handbook of Black Magic* (Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1993).

Matick, R. E.: *Transmission Lines for Digital and Communications Networks* (Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995).

## **Annexe H** (informative)

### **Matériel d'injection du signal d'essai**

Un matériel type pour lancer les signaux dans les fixations d'essai est répertorié ci-dessous, incluant les avantages et inconvénients généraux de chaque type.

#### **H.1 Câble coaxial semi-rigide**

##### **H.1.1 Avantages**

- Facilité de répétition des mesures (facile de visser/dévisser les câbles coaxiaux de précision).
- Mesures reproductibles sur le même échantillon.
- La préparation des échantillons est plus rapide (pas de carte d'essai nécessaire).
- L'une des méthodes d'achat les moins chères.
- Adapté aux fréquences élevées (~10 GHz – 20 GHz).

##### **H.1.2 Inconvénients**

- Le joint à braser fragile peut se rompre lors de la manipulation.
- Peut être limité par le pas (en raison du diamètre du câble coaxial).
- Discontinuité d'impédance au joint à braser.
- Peut ne pas représenter l'environnement d'application.

#### **H.2 Sondes portatives**

##### **H.2.1 Avantages**

- Facilité de réalisation de la mesure.
- Vitesse de la mesure.
- Faible coût – la sonde est réutilisable sur de nombreux points de mesure.

##### **H.2.2 Inconvénients**

- Charge de circuit.
- Répétabilité des mesures, due à la sonde mobile et à l'expérience de l'utilisateur.
- Limites de largeur de bande.
- Les discontinuités d'impédance peuvent être significatives.
- La capacitance de la sonde peut être comparable à l'éprouvette.
- Maintenir un bon raccordement à la masse est difficile.

## **Annex H** (informative)

### **Test signal launch hardware**

Typical hardware for launching signals into test fixtures are listed below, including the broad advantages and disadvantages of each type.

#### **H.1 Semi-rigid coax**

##### **H.1.1 Advantages**

- Ease of repeating measurements (easy to screw/unscrew precision coax cables).
- Repeatable measurements on the same sample.
- Sample preparation is faster (no test board required).
- One of the least expensive kinds to purchase.
- Suitable for high frequencies (~10 GHz – 20 GHz).

##### **H.1.2 Disadvantages**

- Delicate – solder joint may break with handling.
- May be limited by pitch (due to the diameter of the coax).
- Impedance discontinuity at the solder joint.
- May not represent the application environment.

#### **H.2 Handheld probes**

##### **H.2.1 Advantages**

- Ease of performing the measurement.
- Speed of measurement.
- Low cost – probe is reusable on many measurement points.

##### **H.2.2 Disadvantages**

- Circuit loading.
- Measurement repeatability, due to movable probe and user experience.
- Bandwidth limitations.
- Impedance discontinuities may be significant.
- Probe capacitance may be comparable to specimen.
- Maintaining good ground connection difficult.

### **H.3 Microsondes**

#### **H.3.1 Avantages**

- Largeur de bande plus élevée que la sonde portative.
- Moins de discontinuité d'impédance que la sonde portative ou SMA.
- Plus de mesures reproductibles en raison de l'espacement de masse fixé.
- L'étalonnage est possible avec la norme correspondante.
- Pas de broche plus fin que d'autres types de sondes.

#### **H.3.2 Inconvénients**

- Coût élevé.
- Fragile – les sondes se cassent facilement.
- La carte d'essai est toujours nécessaire.
- Une utilisation répétée peut rayer, endommager les circuits sur la carte d'essai.
- Des normes particulières d'étalonnage peuvent être nécessaires.
- L'espacement entre le signal et la masse doit être spécifié lors de l'achat, et ne doit pas changer.
- Impossible de les tenir à la main – le positionnement du matériel est généralement nécessaire.

### **H.4 Fixation SMA (sur la carte)**

#### **H.4.1 Trou traversant**

##### **H.4.1.1 Avantages**

- Plus résistant mécaniquement que les sondes sur les circuits ou semi-rigides.
- Mesures plus reproductibles que les sondes sur les circuits.
- Moins cher que les microsondes.
- Utilisable avec des câbles d'essai très répandus.

##### **H.4.1.2 Inconvénients**

- Plus cher que les circuits sur carte ou semi-rigides.
- Réutilisation limitée.
- Grande discontinuité d'impédance due à un grand trou de liaison et à une empreinte de circuit.
- Taille physique relativement grande.

#### **H.4.2 Injection à l'extrémité**

##### **H.4.2.1 Avantages**

- La même que pour un trou traversant SMA (voir ci-dessus).
- Discontinuité d'impédance plus petite que pour un trou traversant SMA.

##### **H.4.2.2 Inconvénients**

- Moins résistante mécaniquement qu'un trou traversant SMA.
- Options d'épaisseur de carte limitées.

### **H.3 Microprobes**

#### **H.3.1 Advantages**

- Higher bandwidth than handheld probe.
- Less impedance discontinuity than handheld probe or SMA.
- More repeatable measurements due to fixed ground spacing.
- Calibration is possible with the matching standard.
- Finer pin pitch than other probe types.

#### **H.3.2 Disadvantages**

- High cost.
- Delicate nature – probes break easily.
- Test board is still required.
- Repeated use can scratch, damage pads on test board.
- Special calibration standards may be required.
- Signal-to-ground spacing must be specified on purchase, and not variable.
- Impossible to hand hold – positioning hardware is typically needed.

### **H.4 SMA attach (on board)**

#### **H.4.1 Through hole**

##### **H.4.1.1 Advantages**

- More mechanically robust than probes on pads or semi-rigid.
- More repeatable measurements than probes on pads.
- Less expensive than microprobes.
- Usable with commonly available test cables.

##### **H.4.1.2 Disadvantages**

- More expensive than pads on board or semi-rigid.
- Limited reuse.
- Large impedance discontinuity due to large via and pad footprint.
- Relatively large physical size.

#### **H.4.2 End launch**

##### **H.4.2.1 Advantages**

- Same as through hole SMA (see above).
- Smaller impedance discontinuity than through hole SMA.

##### **H.4.2.2 Disadvantages**

- Less mechanically robust than through hole SMA.
- Limited board thickness options.

- Plus chère que les circuits sur carte ou semi-rigides.
- Réutilisation limitée.
- Taille physique relativement grande.
- Il convient qu'elle soit montée sur le bord de la carte – peut augmenter la longueur de tracé et la difficulté de routage.

## **H.5 Autres connecteurs coaxiaux**

### **H.5.1 SMB (note: généralement 75 $\Omega$ , pas 50 $\Omega$ )**

#### **H.5.1.1 Avantages**

- Enclenchement – plus rapide à fixer que le SMA.
- Plus résistant mécaniquement que les sondes sur les circuits ou semi-rigides.
- Mesures plus reproductibles que les sondes sur les circuits.
- Moins cher que les microsondes.

#### **H.5.1.2 Inconvénients**

- Moins largement utilisé – les câbles d'essai spéciaux, etc. peuvent être nécessaires et peuvent coûter plus cher que le SMA.
- Largeur de bande plus petite que le SMA.
- Taille physique relativement grande.

### **H.5.2 MMCX**

#### **H.5.2.1 Avantages**

- Bonne performance électrique.

#### **H.5.2.2 Inconvénients**

- Moins largement utilisé – câbles d'essai, etc. nécessaires.
- Plus cher que le SMA.

### **H.5.3 BNC (non recommandé pour l'utilisation au-dessus de 500 MHz en raison de la largeur de bande limitée)**

## **H.6 Câbles d'essai**

### **H.6.1 Câble semi-rigide**

#### **H.6.1.1 Avantages**

- Largeur de bande plus élevée que les câbles souples.
- Coût plus faible que les câbles souples.

#### **H.6.1.2 Inconvénients**

- Moins résistant mécaniquement (capable de moins de mouvements de courbure répétés).

- More expensive than pads on board or semi-rigid.
- Limited re-use.
- Relatively large physical size.
- Has to be mounted on edge of board – can increase trace length and routing difficulty.

## **H.5 Other coaxial connectors**

### **H.5.1 SMB (note: typically 75 $\Omega$ , not 50 $\Omega$ )**

#### **H.5.1.1 Advantages**

- Snap on – faster to attach than SMA.
- More mechanically robust than probes on pads or semi-rigid.
- More repeatable measurements than probes on pads.
- Less expensive than microprobes.

#### **H.5.1.2 Disadvantages**

- Less widely used – special test cables, etc. may be needed, and may cost more than SMA.
- Lower bandwidth than SMA.
- Relatively large physical size.

### **H.5.2 MMCX**

#### **H.5.2.1 Advantages**

- Good electrical performance.

#### **H.5.2.2 Disadvantages**

- Less widely used – test cables, etc. needed.
- More expensive than SMA.

### **H.5.3 BNC (not recommended for use above 500 MHz due to limited bandwidth)**

## **H.6 Test cables**

### **H.6.1 Semi-rigid**

#### **H.6.1.1 Advantages**

- Higher bandwidth than flexible cables.
- Lower cost than flexible cables.

#### **H.6.1.2 Disadvantages**

- Less mechanically robust (capable of fewer repeated bending motions).

## **H.6.2 Câble souple**

### **H.6.2.1 Avantages**

- Variété de longueurs, largeurs de bande et coûts associés facilement disponibles.
- Facile d'ajuster la position du dispositif en essai.
- Plus facile à réutiliser que le câble semi-rigide.

### **H.6.2.2 Inconvénients**

- Plus cher que le câble semi-rigide.

## **H.7 Symétriseurs et autres dispositifs pour mesures différentielles**

Les symétriseurs et dispositifs analogues pour mesures différentielles ont des caractéristiques bien définies sur une gamme de fréquence spécifiée. Il est recommandé que les professionnels d'essai évaluent soigneusement (et vérifient si nécessaire) l'aptitude du matériel à réaliser les mesures désirées.

---

## **H.6.2 Flexible cable**

### **H.6.2.1 Advantages**

- Variety of lengths, bandwidths and associated costs readily available.
- Easy to adjust position of device under test.
- Easier to reuse than semi-rigid.

### **H.6.2.2 Disadvantages**

- More expensive than semi-rigid.

## **H.7 Baluns and other devices for differential measurements**

Baluns and similar devices for differential measurements have well defined characteristics over a specified frequency range. It is recommended that test professionals carefully evaluate (and verify as necessary) the hardware's suitability for the desired measurements.

---

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



**Standards Survey**

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**  
3, rue de Varembé  
1211 GENEVA 20  
Switzerland



**Q1** Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

**Q2** Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

**Q3** I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

**Q4** This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

**Q5** This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

**Q6** If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other .....

**Q7** Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents .....
- tables, charts, graphs, figures.....
- other .....

**Q8** I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

**Q9** Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)  
**Commission Electrotechnique Internationale**  
3, rue de Varembé  
1211 GENÈVE 20  
Suisse



**Q1** Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:  
(ex. 60601-1-1)  
.....

**Q2** En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?  
(cochez tout ce qui convient)  
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

**Q3** Je travaille:  
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/  
certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

**Q4** Cette norme sera utilisée pour/comme  
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

**Q5** Cette norme répond-elle à vos besoins:  
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

**Q6** Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:  
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s) .....

**Q7** Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres  
(1) inacceptable,  
(2) au-dessous de la moyenne,  
(3) moyen,  
(4) au-dessus de la moyenne,  
(5) exceptionnel,  
(6) sans objet

- publication en temps opportun .....
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique .....
- disposition logique du contenu .....
- tableaux, diagrammes, graphiques,  
figures .....
- autre(s) .....

**Q8** Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

**Q9** Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISBN 2-8318-7795-4



9 782831 877952

---

ICS 31.220.10

---