

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

61156-1

1994

AMENDEMENT 2  
AMENDMENT 2  
2001-04

---

---

Amendement 2

**Câbles multiconducteurs à paires symétriques et  
quartes pour transmissions numériques –**

**Partie 1:  
Spécification générique**

Amendment 2

**Multicore and symmetrical pair/quad cables for  
digital communications –**

**Part 1:  
Generic specification**

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

W

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

## AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 46C: Câbles symétriques et fils, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, et accessoires pour communications et signalisation.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
46C/428/FDIS	46C/452/RVD

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2004. A cette date, la publication sera

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

Page 18

### 2.1.5 Vitesse de propagation

*Remplacer le titre et le texte de ce paragraphe par le nouveau paragraphe suivant*

### 2.1.5 Vitesse de propagation (vitesse de phase)

La vitesse de propagation est définie par la vitesse à laquelle le signal se propage dans le câble. La vitesse de propagation est exprimée en km/s. Elle peut aussi s'exprimer comme un rapport de vitesse, c'est-à-dire comme le rapport de la vitesse de propagation dans le câble sur celle de la lumière dans l'espace, cette dernière pouvant être prise comme étant égale à 299 778 km/s. La vitesse de propagation est généralement déterminée par l'angle de phase et la vitesse angulaire. La vitesse de propagation (vitesse de phase) est donnée par:

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi \cdot f}{\beta} \quad (5)$$

où

f est la fréquence (Hz)

$v_p$  est la vitesse de phase (m/s)

$\beta$  est la constante de phase (radian/m)

$\omega$  est la vitesse angulaire (radian/s)

## FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 46C: Wires and symmetric cables, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, and accessories for communication and signalling.

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

FDIS	Report on voting
46C/428/FDIS	46C/452/RVD

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until 2004. At this date, the publication will be

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

Page 19

### 2.1.5 Velocity of propagation

*Replace the title and the text of this subclause by the following new subclause*

### 2.1.5 Velocity of propagation (phase velocity)

The velocity of propagation is defined as the velocity at which the signal propagates in the cable. The velocity of propagation is expressed in km/s. The velocity of propagation may also be expressed by the velocity ratio, i.e. the ratio of the velocity of propagation in the cable compared to a wave in free space. The latter shall be taken as 299 778 km/s. The velocity of propagation is generally determined from the phase angle and the radian frequency. The velocity of propagation (phase velocity) is given by

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi \cdot f}{\beta} \quad (5)$$

where

f is the frequency (Hz)

$v_p$  is the phase velocity (m/s)

$\beta$  is the phase constant (radian/m)

$\omega$  is the radian frequency (radian/s)

Page 23

Après le paragraphe 2.1.14, ajouter les nouveaux paragraphes suivants

### 2.1.15 Retard de phase

Le retard de phase est défini comme étant l'inverse de la vitesse de phase pour un câble de longueur l. Le retard de phase est donné par:

$$T = \frac{l}{v_p} \quad (27)$$

où

T est le retard de phase (s)

l est la longueur du câble (m)

### 2.1.16 Ecart de retard de phase (distorsion)

L'écart de retard de phase (distorsion) est défini comme étant la différence de retard de phase entre deux paires quelconques du câble. L'écart de retard de phase (distorsion) est exprimé par:

$$\Delta T = \left| \left( \frac{l}{v_{p_1}} - \frac{l}{v_{p_2}} \right) \right| \quad (28)$$

où

p<sub>1</sub> désigne une paire,

p<sub>2</sub>, l'autre paire, et

ΔT est l'écart de retard de phase (distorsion).

Page 38

### 3.3.6 Impédance caractéristique

Remplacer la totalité du texte de ce paragraphe par ce qui suit:

#### 3.3.6.1 Introduction

L'impédance caractéristique, Z<sub>c</sub>, d'une paire de câble homogène est définie comme le quotient d'une onde de tension et d'une onde de courant se propageant dans la même direction, soit en avant soit en arrière. Pour les câbles homogènes (sans irrégularités), l'impédance caractéristique peut être mesurée directement comme le quotient de la tension et du courant aux extrémités du câble.

$$Z_c = \frac{V_f}{I_f} = \frac{V_r}{I_r} \quad (22)$$

Page 23

After subclause 2.1.14, add the following new subclauses

### 2.1.15 Phase delay

The phase delay is defined as the inverse of the phase velocity along a cable of length  $l$ . The phase delay is given by:

$$T = \frac{l}{v_p} \quad (27)$$

where

$T$  is the phase delay (s)

$l$  is the length of the cable (m)

### 2.1.16 Differential phase delay (skew)

The differential delay (skew) is defined as the difference in phase delay between any two pairs in the cable. The differential delay (skew) is defined as:

$$\Delta T = \left| \left( \frac{l}{v_{p_1}} - \frac{l}{v_{p_2}} \right) \right| \quad (28)$$

where

the index  $p_1$  refers to the one pair,

$p_2$  to the other pair, and

$\Delta T$  is the differential delay (skew).

Page 39

## 3.3.6 Characteristic impedance

Replace the totality of the existing text of this subclause by the following:

### 3.3.6.1 Introduction

The characteristic impedance,  $Z_c$ , of a homogeneous cable pair is defined as the quotient of a voltage wave and current wave which are propagating in the same direction, either forwards or backwards. For homogeneous cables (with no structural variations) the characteristic impedance can be measured directly as the quotient of voltage and current at the cable ends.

$$Z_c = \frac{V_f}{I_f} = \frac{V_r}{I_r} \quad (22)$$

Les autres caractéristiques importantes pour un système de câblage sont l'impédance d'entrée, l'affaiblissement de réflexion ( $RL$ ) et l'affaiblissement de réflexion structurel ( $SRL$ ) du câble aux deux extrémités. Elles sont mesurées sous forme d'impédances ou de valeurs des paramètres  $S$ . Des informations supplémentaires concernant les divers paramètres d'impédance et d'affaiblissement de réflexion sont données en annexe A. Une expression reliant le  $SRL$  à l'écho en résultant est aussi indiquée en annexe A.

### 3.3.6.2 Méthodes et équipement pour obtenir les données d'impédance caractéristique

#### 3.3.6.2.1 Objectifs

Plusieurs méthodes sont disponibles pour mesurer l'impédance caractéristique. La *Mesure de l'impédance en circuit ouvert et court circuit effectuée à une seule extrémité à l'aide d'un transformateur symétriseur* est spécifiée comme la méthode de référence. Ce doit être la méthode utilisée pour comparer différentes configurations d'équipement d'essai et en cas de doute ou de contestation sur les résultats. Les autres méthodes sont décrites ci-dessous. Des précisions concernant toutes les diverses méthodes sont indiquées en annexe A, avec la théorie sous-jacente et les limitations pour chaque méthode. D'autres méthodes peuvent être utilisées, selon l'équipement disponible comme dans le cas de testeurs de terrain utilisés sur les lieux d'installation, tant que les résultats sont conciliables avec la méthode de référence.

Il est prévu que les mesures d'impédance soient effectuées en utilisant des fréquences discrètes suffisamment peu espacées pour que les variations d'impédances (extrêmes structurelles) soient représentées de façon appropriée. On peut utiliser soit un balayage linéaire soit un balayage logarithmique, selon que l'extrémité élevée ou l'extrémité basse, respectivement, de la gamme de fréquences, doit être plus complètement représentée. Normalement, plusieurs centaines de points (tels que les 401 points disponibles) sont prescrites, selon la gamme de fréquences et la longueur du câble.

Le transformateur symétriseur utilisé pour relier la paire de câbles symétriques à la sortie coaxiale de l'instrument d'essai doit avoir une bande passante appropriée à la gamme de fréquences désirée pour la mesure. Il doit être capable d'assurer la transformation de l'impédance de sortie de l'instrument en l'impédance nominale de la paire. Le calibrage de la mesure d'impédance en trois étapes est effectué au secondaire (côté paire) du transformateur symétriseur.

La régression par la méthode des moindres carrés des points d'impédance est utile pour séparer les effets structurels de l'impédance caractéristique lorsque de tels effets sont substantiels. Lorsque la régression est utilisée, le concept est que des mesures à partir de fréquences proches aident à l'interprétation des valeurs obtenues à une fréquence particulière. La régression de l'amplitude de l'impédance ou de la partie réelle résulte en des valeurs assez élevées (typiquement  $0,5 \Omega$  ou moins) du fait des déviations positives et négatives qui ne sont pas symétriques sur l'échelle d'impédance. La régression peut être effectuée sur les valeurs du paramètre  $S$ , qui sont des réponses linéaires, si des résultats plus rigoureux (à la fois impédance et  $SRL$ ) sont souhaités.

#### 3.3.6.2.2 Mesures de l'impédance court-circuit/Circuit ouvert à une seule extrémité à l'aide d'un transformateur symétriseur (méthode de référence)

##### 3.3.6.2.2.1 Principe

Les mesures en court-circuit/circuit ouvert effectuées à l'aide d'un transformateur symétriseur à partir d'une extrémité d'une paire de câbles symétriques constituent la méthode de référence pour obtenir les valeurs d'impédance caractéristique. L'impédance caractéristique est la moyenne géométrique du produit des valeurs mesurées en court-circuit/circuit ouvert et est définie comme:

$$Z_{CM} = \sqrt{Z_{OC} Z_{SC}} \quad (23)$$

The other important characteristics for a cabling system, are the input impedance, return loss (*RL*) and structural return loss (*SRL*) at both ends of the cable. They are measured either as impedances or as S-parameter values. Additional supporting material relating to the various impedance and return loss parameters is found in Annex A. An expression relating the *SRL* to the resulting echo is found in Annex A as well.

### 3.3.6.2 Methods and equipment for obtaining characteristic impedance data

#### 3.3.6.2.1 Objectives

Several methods are available for measuring characteristic impedance. The *Open/Short Circuit Single-Ended Impedance Measurement made with a Balun* is specified as the reference method. This shall be the method used for comparison purposes amongst different test equipment configurations and in the event of any doubt or dispute over results. The alternative methods are outlined below. Details for all the various methods are given in Annex A, along with the underlying theory and limitations for each method. Other methods may be used, depending on available equipment as in the case of field testers used at installation sites, as long as results are reconcilable to the reference method.

It is intended that impedance measurements will be performed using sufficiently closely spaced frequencies so that impedance variation is adequately represented. Either a linear sweep or a logarithmic sweep may be used depending on whether the high end or low end, respectively, of the desired frequency range is to be more fully represented. Typically, several hundred points (such as the available 401 points) are required depending on frequency range and cable length.

The balun used for connecting the symmetric cable pair to the coaxial port on the test instrument shall have a pass-band frequency range adequate for the desired measurement range. It shall be capable of transforming from the instrument port impedance to the nominal pair impedance. The three step impedance measurement calibration is performed at the secondary (pair side) of the balun.

Function fitting of the impedance data is useful for separating structural effects from the characteristic impedance when such effects are substantial. Where function fitting is used, the concept is that measurements from nearby frequencies aid in the interpretation of the values obtained at a particular frequency. Function fitting of the impedance magnitude or real part results in high values (typically 0,5 Ω or less) because of the positive and negative deviations not being symmetrical on the impedance scale. Function fitting can be carried out on the S-Parameter values, which are linear responses, if more rigorous results (both impedance and *SRL*) are desired.

#### 3.3.6.2.2 Open/short circuit single-ended impedance measurement made with a balun (reference method)

##### 3.3.6.2.2.1 Principle

Open and short circuit measurements made with a balun from one end of a symmetric cable pair is the reference method for obtaining characteristic impedance values. The characteristic impedance is the geometric mean of the product of the open and short circuit measured values and is defined as:

$$Z_{CM} = \sqrt{Z_{OC} Z_{SC}} \quad (23)$$

où

$Z_C$  est l'impédance caractéristique complexe si la paire est homogène ou dépourvu de structure (utilisé également pour représenter le résultat de la régression) ( $\Omega$ );

$Z_{OC}$  est l'impédance complexe en circuit ouvert ( $\Omega$ );

$Z_{SC}$  est l'impédance complexe en court-circuit ( $\Omega$ ).

Lorsque le câble n'est pas homogène, on obtient une impédance affectée par les effets structurels:

$$Z_{CM} = \sqrt{Z_{OC} Z_{SC}} \quad (24)$$

où  $Z_{CM}$  est l'impédance caractéristique complexe avec effets structurels (impédance d'entrée) exprimée en ohms ( $\Omega$ ).

L'équation 23 représente l'impédance caractéristique  $Z_C$  lorsque les effets structurels sont négligeables. La régression des valeurs d'impédance court-circuit/circuit ouvert avec une impédance caractéristique fonction de la fréquence peut être employé pour obtenir  $Z_C$  à partir de l'impédance d'entrée,  $Z_{CM}$ , (équation 24) lorsque les effets structurels sont substantiels conformément au paragraphe 3.3.6.2. Les équations 23 et 24 (et cette technique de mesure) sont valables pour des fréquences s'étendant à partir de valeurs faibles, où la longueur du câble est uniquement une fraction d'une longueur d'onde, jusqu'à des fréquences élevées, où la longueur de câble représente de nombreuses longueurs d'onde.

#### 3.3.6.2.2.2 Préparation de l'échantillon

Les échantillons doivent être préparés avec une quantité minimale de gaine et d'écran enlevés de façon à ce que les effets d'extrémité soient réduits. Pas plus de 40 mm de gaine, 25 mm d'écran et 8 mm d'isolant ne doivent être retirés des paires pour les mesures jusqu'à 100 MHz. Les paires ne doivent pas être dépariées sur plus de 13 mm. De plus, les câbles sans écran doivent être suspendus ou posés sur une surface non-conductrice de façon que les différents passages soient séparés de 25 mm. Les essais sont prévus pour être appliqués à un échantillon d'au moins 100 m retiré de l'emballage de livraison. On ne considère qu'un échantillon est bon que lorsqu'il passe l'essai effectué aux deux extrémités (dans les deux directions). Les mesures de routine peuvent être effectuées sur des tourets de production et/ou sur la livraison finale dans une direction.

#### 3.3.6.2.2.3 Equipement d'essai

Un analyseur de réseau (avec une unité de paramètre S) ou un impédancemètre peuvent être utilisés pour obtenir les valeurs. La Figure 1 présente les principaux composants d'un circuit de mesure d'impédance où le générateur et le récepteur sont des parties de l'analyseur de réseau. Une unité de paramètre S, où le composant clef est le pont de réflexion, est utilisée avec un analyseur de réseau pour séparer le signal réfléchi du signal incident. Un transformateur symétriseur avec une gamme de fréquences, et une impédance appropriées (tel que 50  $\Omega$  à 100  $\Omega$  pour un équipement de 50  $\Omega$  et une paire de 100  $\Omega$ ) symétrisé au moins aussi bien que les paires en essai permet la mesure de paires symétriques dans des conditions équilibrées. Trois conditions de terminaison, ouvert, fermé et chargé sur l'impédance nominale sont utilisées comme appropriées au type de mesure effectué (ouvert, fermé ou terminé).



where

$Z_C$  is the complex characteristic impedance, expressed in ohms ( $\Omega$ ), if the pair is homogeneous or free of structure (also used to represent a function fitted result);

$Z_{OC}$  is the complex measured open circuit impedance, expressed in ohms ( $\Omega$ );

$Z_{SC}$  is the complex measured short circuit impedance, expressed in ohms ( $\Omega$ ).

When the cable is not homogenous, an impedance inclusive of structural effects is obtained:

$$Z_{CM} = \sqrt{Z_{OC} Z_{SC}} \quad (24)$$

where  $Z_{CM}$  is the complex characteristic impedance together with structure (input impedance), expressed in ohms ( $\Omega$ ).

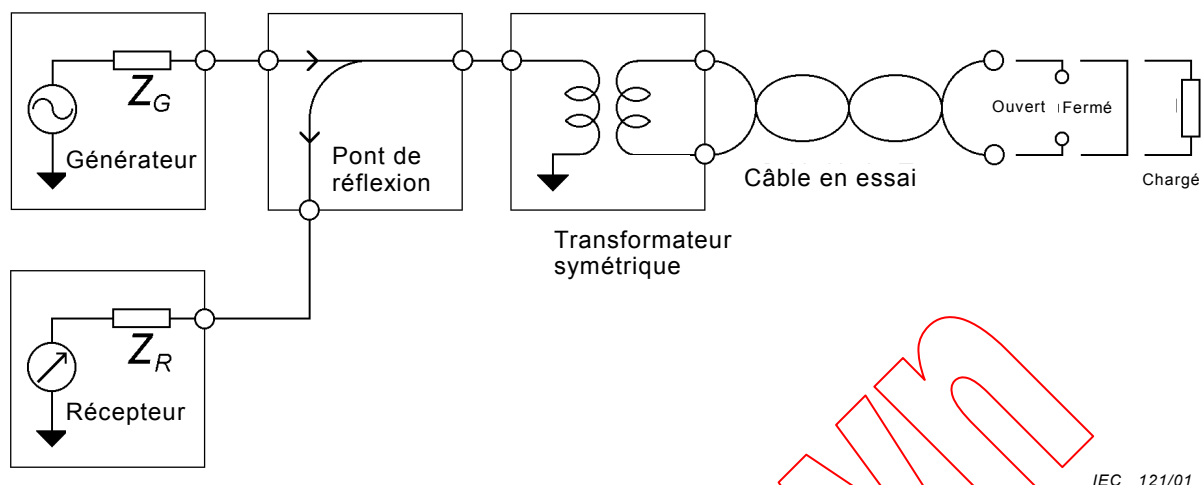
Equation 23 represents the characteristic impedance,  $Z_C$ , when structural effects are negligible. The fitting of the *open/short impedance* data with a characteristic impedance like function of frequency can be employed to obtain  $Z_C$  from the input impedance,  $Z_{CM}$ , (Equation 24) when structural effects are substantial in accordance with 3.3.6.2. Equations 23 and 24 (and this measurement technique) are valid for frequencies extending from low values, where the cable length is only a fraction of a wavelength, to high frequencies where cable length represents many wavelengths.

### 3.3.6.2.2.2 Sample preparation

Samples shall be prepared so that end effects are minimized. No more than 40 mm of jacket, 25 mm of shield, and no more than 8 mm of insulation shall be removed from pairs for measurements extending to 100 MHz. The pairs shall not be untwisted by more than 13 mm. In addition, unshielded cable shall be suspended or laid on a non-conducting surface so that multiple traversals are separated by 25 mm. Testing is intended to apply to a sample length of at least 100 m removed from the delivery package. A sample is considered to have passed only when it passes the test from both ends (both directions). Routine measurements may be performed on production drums and/or on the final delivery package from one direction.

### 3.3.6.2.2.3 Test equipment

A network analyzer (together with an S-parameter unit) or an impedance meter can be used to obtain the data. Figure 1 shows the main components of an impedance measurement circuit where the generator and receiver are parts of the network analyzer. An S-parameter unit, where the key component is the reflection bridge, is used with a network analyzer to separate the reflected signal from the incident signal. A balun with the appropriate frequency range, impedance (such as 50  $\Omega$  to 100  $\Omega$  for 50  $\Omega$  equipment and 100  $\Omega$  pair) and balanced at least as well as the pair under test facilitates making measurements on symmetric pairs under balanced conditions. Three terminating conditions, open, short and the nominal load resistance are used as appropriate for the type of measurement being made (open, short or terminated).



IEC 121/01

Figure 1 – Schéma du circuit de mesure de la paire de câble

### 3.3.6.2.2.4 Procédure

Une procédure de calibration en trois étapes utilisant les mêmes terminaisons, ouvert, fermé et chargé, que celles utilisées pour les mesures réelles est effectuée au secondaire du transformateur symétriseur avec la paire de câbles déconnectée. En effectuant la procédure de calibration en trois étapes au secondaire du transformateur symétriseur, l'analyseur de réseau est capable de mesurer directement le coefficient de réflexion complexe (paramètre S) ou l'impédance d'une paire de câble. Une procédure de calibration interne en trois étapes comprenant les calculs est fournie avec la plupart des analyseurs de réseau quand une unité de paramètre S est utilisée. La Méthode A1 en Annexe A – paragraphe A.6.1 couvre une procédure similaire de calibration en trois étapes en utilisant le principe de la matrice F où toutes les quantités sont établies comme impédances. Cette méthode est utile lorsque l'analyseur de réseau n'est pas équipé de façon appropriée, dans ce cas les estimations peuvent être accomplies à l'extérieur de l'analyseur.

L'impédance mesurée (circuit ouvert ou court circuit) est estimée à partir des mesures du coefficient de réflexion à l'aide de l'équation 25 soit par l'analyseur de réseau, soit par un ordinateur (sur des données acquises):

$$Z_{MEAS} = Z_R \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (25)$$

où

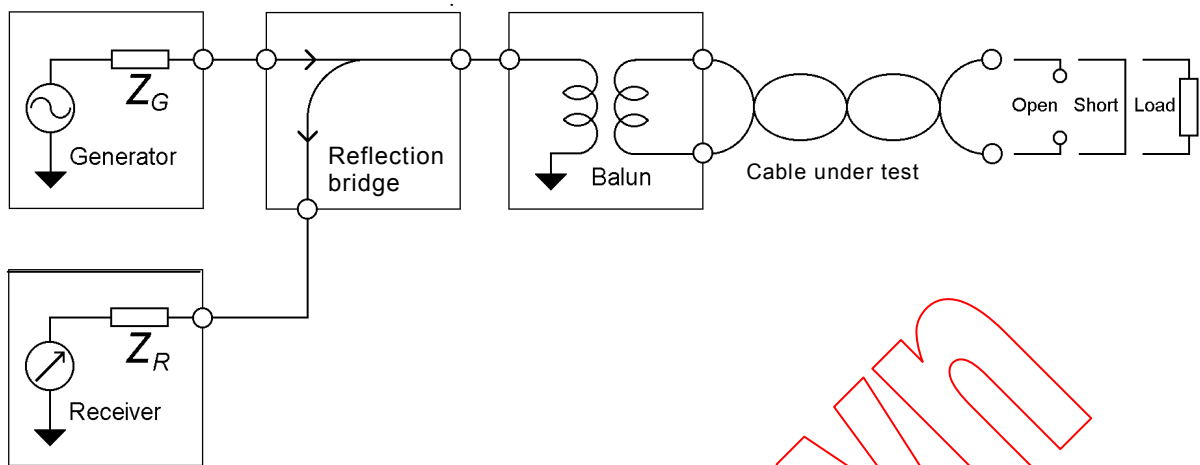
$Z_{MEAS}$  est l'impédance complexe mesurée (circuit ouvert ou court circuit) ( $\Omega$ );

$Z_R$  est l'impédance de référence (résistance) utilisée pendant le calibration ( $\Omega$ );

$S_{11}$  est le coefficient de réflexion complexe mesuré.

### 3.3.6.2.2.5 Prescriptions

Plusieurs approches sont possibles conceptuellement. D'une part, l'impédance d'entrée, constituée de l'impédance caractéristique et des effets structurels, peut être considérée comme devant répondre à une seule prescription plus vaste (telle que la plage de 85 à 115  $\Omega$ ) dans la gamme de fréquences spécifiée. D'autre part, une gamme plus étroite (telle que la plage de 95 à 105  $\Omega$ ) peut être considérée comme étant une prescription pour la composante asymptotique de l'impédance caractéristique après régression. Dans ce cas, les spécifications RL ou SRL sont utilisées pour contrôler les effets structurels. L'avantage d'une seule prescription vaste dans beaucoup de cas est la simplification de la mesure. Un avantage de séparer les deux effets est celui d'obtenir des informations quantitatives pour les deux effets.



IEC 121/01

Figure 1 – Diagram of cable pair measurement circuit

#### 3.3.6.2.2.4 Procedure

A three step calibration procedure using the same open, short and load terminations as used for the actual measurements is carried out at the secondary of the balun with the cable pair disconnected. Upon completing the 3 step calibration procedure at the secondary of the balun the network analyzer is capable of measuring directly the complex reflection coefficient (S-parameter) or impedance of a cable pair. An internal 3 step calibration procedure including calculations is provided by most network analyzers when an S-parameter unit is used. Method A1 in Annex A – A.6.1 covers a similar three step calibration procedure by using the F-matrix principle where all the quantities are stated as impedances. This method is useful when the network analyzer is not suitably equipped in which case the computations can be accomplished external to the analyzer.

The measured impedance (open or short) is computed from the reflection coefficient measurements by means of equation 25 either by the network analyzer or by a computer (on acquired data):

$$Z_{MEAS} = Z_R \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (25)$$

where

$Z_{MEAS}$  is the complex measured impedance (open or short), expressed in ohms ( $\Omega$ );

$Z_R$  is the reference impedance, expressed in ohms ( $\Omega$ ), (resistor) used during calibration;

$S_{11}$  is the complex measured reflection coefficient.

#### 3.3.6.2.2.5 Requirements

Conceptually several approaches are possible. On the one hand, the input impedance consisting of the combined characteristic impedance and structural effects can be viewed as needing to meet a broader single requirement (such as the 85 to 115  $\Omega$  range) over the specified frequency range. Alternatively, a narrower range (such as a 95 to 105  $\Omega$  range) can be viewed as being a requirement for the asymptotic component of function fitted characteristic impedance. In this case  $RL$  or  $SRL$  specifications are used to control structural effects. The advantage of a broad single requirement in many instances is measurement simplification.

Les prescriptions pour l'impédance et les effets structurels de divers types de câbles sont donnés dans les spécifications appropriées.

### 3.3.6.2.3 Autres Méthodes de mesure de l'impédance

Un certain nombre de méthodes alternatives pour obtenir l'impédance caractéristique sont décrites dans l'annexe A. Certaines de ces méthodes présentent de la commodité (peut-être aux dépens de la précision dans des portions de la gamme de fréquences). D'autres offrent des possibilités au-delà de ce qui est normalement nécessaire pour un contrôle de routine du produit mais sont utiles dans l'évaluation de laboratoires dans lesquels le nombre de mesures n'est pas critique.

La *Méthode de mesure de l'impédance Court-circuit/Circuit ouvert* effectuée à une seule extrémité à l'aide d'un transformateur symétriseur dans le paragraphe 3.3.6.2.2 est considérée comme la méthode de référence pour obtenir les données. Les autres méthodes possibles sont énumérées ci-dessous:

- Impédance caractéristique déterminée à partir des mesures de la constante de propagation et de la capacité (Annexe A – A4)
- Mesures de l'impédance sur câble terminé par son impédance nominale. (Annexe A – A5)
- Mesures de l'impédance court-circuit/Circuit ouvert excluant l'effet du transformateur symétriseur (Annexe A – A6.1)
- Mesures de l'impédance effectuées sans transformateur symétriseur (Annexe A – A6.2)
- Mesures de l'impédance obtenues par la technique de décomposition modale (Annexe A – A6.3)

### 3.3.6.3 Régression par la méthode des moindres carrés des données d'impédance caractéristique

La régression est utile pour estimer l'impédance caractéristique lorsque les mesures sont affectées par les effets structurels. Cette technique est utile pour séparer l'affaiblissement de réflexion structurel (SRL) de l'impédance caractéristique ou pour obtenir une relation fonctionnelle pour les valeurs d'impédance dans un but de conception. Cette procédure n'est pas prescrite pour l'essai des paires pour lesquelles les valeurs d'impédance tombent dans les limites supérieure et inférieure d'impédance qui sont plus contraignantes que les limites associées pour l'affaiblissement de réflexion ou le SRL.

Cette méthode diffère du lissage étant donné qu'une impédance caractéristique comme fonction (fondée sur la théorie de la transmission) est utilisée pour s'adapter aux données mesurées (obtenues à partir de l'équation 24 ou des données d'impédance terminée). La fonction est établie comme suit:

$$|Z_c| = K_0 + \frac{K_1}{f^{1/2}} + \frac{K_2}{f} + \frac{K_3}{f^{3/2}} \quad (26)$$

où

$|Z_c|$  est l'amplitude de l'impédance caractéristique adaptée ( $\Omega$ )

$K_0, K_1, K_2, K_3$  sont les coefficients des moindres carrés obtenus à partir de l'Annexe A – équation A-69 ( $\Omega$ /(puissance applicable de Hz))

$f$  est la fréquence (Hz)

NOTE Lorsque des valeurs d'impédance sur câble chargé sont utilisées au lieu de valeurs circuit ouvert/court circuit, le double de l'atténuation de la longueur mesurée doit être suffisamment grand (entre 10 dB et 20 dB pour des précisions souhaitées de l'ordre de 5  $\Omega$  à 1,5  $\Omega$  respectivement quand la déviation maximale est 15  $\Omega$  – voir annexe A5).

The advantage of separating the two effects is that of obtaining quantitative information for the two effects. The requirements for the impedance and structural effects are given in the relevant cable specification.

### 3.3.6.2.3 Alternate impedance measurement methods

A number of alternate methods for obtaining characteristic impedance are described in Annex A. Some of these methods offer convenience (perhaps at the cost of accuracy in portions of the frequency range). Others offer capability beyond what is currently needed for routine product inspection but are useful in laboratory evaluation where measurement throughput is not as critical.

The *Open/short circuit single-ended impedance measurement made with a balun* in 3.3.6.2.2 is viewed as the reference method for obtaining the data. The alternative methods are listed below:

- a) Characteristic Impedance determined from Propagation Coefficient and Capacitance Measurements (Annex A – A4)
- b) Terminated cable Impedance Measurements (Annex A – A5)
- c) Open/Short Impedance Measurements excluding Balun Performance (Annex A – A6.1)
- d) Impedance Measurements made without a Balun (Annex A – A6.2)
- e) Impedance Measurements obtained by Modal Decomposition Technique (Annex A – A6.3)

### 3.3.6.3 Function fitting of characteristic impedance data

Function fitting is useful for computing the characteristic impedance when the measurements include structural effects. This technique is useful for separating the structural return loss (*SRL*) from the characteristic impedance or for obtaining a functional relationship for the impedance data for design purposes. This procedure is not required for the testing of pairs for which the impedance data falls within upper and lower impedance limits that are more confining than the associated limits for return loss or *SRL*.

This method differs from smoothing in that a characteristic impedance like function (based on transmission theory) is used to fit the measured data (obtained from Equation 24 or terminated impedance data). The function is stated as follows:

$$|Z_C| = K_0 + \frac{K_1}{f^{1/2}} + \frac{K_2}{f} + \frac{K_3}{f^{3/2}} \quad (26)$$

where

$|Z_C|$  is the magnitude of the fitted characteristic impedance, expressed in ohms ( $\Omega$ );

$K_0, K_1, K_2, K_3$  are least squares coefficients, expressed in  $\Omega/(\text{applicable power of Hz})$ , obtained from Annex A – Equation A-69;

$f$  is the frequency in hertz (Hz).

NOTE Where terminated cable impedance data is used instead of open/short data, round-trip loss of measured length shall be sufficiently large (in the 10 dB to 20 dB range for desired accuracies in the 5  $\Omega$  to 1,5  $\Omega$  range respectively when maximum deviation is 15  $\Omega$  – see Annex A.5).

Des valeurs discrètes espacées de façon égale selon le logarithme de la fréquence sont souhaitables pour la régression car cela résulte en une pondération appropriée des limites basse et haute d'un balayage de fréquence multi-décades. Un espacement de fréquence linéaire avec une pondération logarithmique peut être utilisé dans les calculs quand l'espacement du logarithme de la fréquence conduit à s'inquiéter à propos d'un sous-échantillonnage à des fréquences élevées. Faire le tracé des valeurs par rapport au logarithme de la fréquence peut aider ici (comme dans la théorie de réseau). Des précisions pour accomplir la régression des moindres carrés peuvent être trouvées dans l'Annexe A-A.3. La régression pour des ensembles de valeurs individuelles peut rapidement être effectuée en important les données de format ASCII obtenues à partir de l'analyseur de réseau directement dans un tableur et en utilisant les procédures de régression fournies. Un logiciel optimisé pour analyser de nombreuses séries de valeurs est souhaitable pour l'utilisation dans un site de production.

Les termes du côté droit de l'équation 26 diminuent généralement en importance de la gauche vers la droite. Les deux premiers termes ont une base théorique forte. Le terme constant a la base la plus forte car il représente l'inductance externe (le plus grand composant de l'inductance) et la capacité de la paire (Voir Annexe A-A.1). Le second terme est significatif car il représente la composante de l'impédance caractéristique résultant de l'inductance interne. Les deux derniers termes sont fournis pour pourvoir aux effets de second ordre tels que la diminution de la capacité avec la fréquence, avec les matériaux d'isolation polaire ou les effets d'écran. Dans ce dernier cas, la limite basse fréquence de la régression est limitée à la zone où la pente augmente avec la fréquence (2e dérivée positive).

#### **3.3.6.3.1 Termes moins nombreux**

Selon la gamme de fréquences de la mesure et l'importance des variations structurelles, l'utilisation d'un ou de plusieurs des termes d'ordre plus élevé peut ne pas se justifier. Les contributions des termes d'ordre plus élevé sont considérées comme de second ordre. Là où les données couvrent une décade ou moins, seuls les deux premiers termes (ou peut-être seulement le terme constant) peuvent être justifiés. L'Annexe A-A.3.1.2 fournit une méthode d'élimination d'un ou plusieurs termes lorsqu'ils ne sont pas justifiés. Le résultat de la régression est estimé valable s'il a une pente négative à basses fréquences, est asymptotique à des fréquences plus élevées et n'a pas d'oscillation avec fréquence.

#### **3.3.6.3.2 Angle de phase**

Les valeurs de l'angle de phase de l'impédance caractéristique peuvent subir une régression similaire à celles de l'amplitude. L'angle de phase de l'impédance caractéristique est important pour calculer le SRL à des fréquences basses où l'angle est inférieur à  $-10^\circ$  ou s'il présente un intérêt pour la conception du câble.

Page 40

*Avant le paragraphe 3.4, ajouter le nouveau paragraphe suivant:*

#### **3.3.7 Affaiblissement de réflexion (RL) et affaiblissement de réflexion structurel (SRL)**

L'affaiblissement de réflexion et le SRL sont tous les deux utiles pour quantifier le niveau (quantité) du signal réfléchi. L'affaiblissement de réflexion combine les effets des réflexions dues à la fois à la désadaptation par rapport à l'impédance nominale (telle que  $100 \Omega$ ) et aux effets structurels. Il est spécifié lorsque la performance du système est l'intérêt premier.

Alors que l'affaiblissement de réflexion caractérise la performance du canal, le SRL est utilisé pour représenter les effets structurels du média lui-même par rapport à  $Z_c$  et est utile pour l'évaluation du câble.